

# 中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高級中等學校組 環境學科

佳作

052609

不可能的暖咖效應

學校名稱：基隆市立暖暖高級中學

作者：  高二 黃祈瑄  高二 曾柏崴	指導老師：  林芙蓉  蕭惠玲
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：暖暖包、氧化還原、咖啡渣

## 摘要

環境汙染一直是全球關注的問題，而本研究是基於冬天時，常會看到同學拿著暖暖包取暖，如此使用頻繁且不可重複使用的暖暖包是否會造成環境上的負擔呢？透過本研究希望能將資源再利用的咖啡渣，用來取代暖暖包內容物-蛭石，拓展咖啡渣的新用途，減少廢棄量。

本研究比較了不同咖啡渣來源、添加量及研磨大小等因素進行暖暖包放熱溫度曲線分析，而我們成功找到可以跟市售暖暖包一較高下的最佳配方：2g 濾掛式(20 秒\*5)的咖啡渣，持續放熱 24 小時後仍有 47.04°C 的高溫。並更進一步結合大眾喜愛程度，能客製化提供暖暖包配方，來滿足不同消費者的需求，最後利用簡單步驟在家中即可自製出暖暖包，方便使用於日常生活中，既天然更可達到資源再利用。


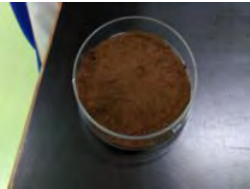




## 壹、研究動機

在寒冷的冬天裡，我們常看到同學們拿著暖暖包，揉阿揉的，希望透過暖暖包能帶給他們自己一點溫暖，然而每天都使用的暖暖包，是不是會造成地球資源消耗呢？於是我們針對暖暖包進行了一連串資料調查，從中發現在製造過程裡會加入一種名為蛭石的礦物，它是土壤中很重要的營養成分，富含鐵、鎂等大量土壤中不可或缺的養分，但人們為了度過寒風刺骨的冬天，不惜大量開採它，而這也導致了開採國的土壤肥沃度大幅度的下降了。在經過各項資料研究後，我們成功找到了咖啡渣，就有著與蛭石類似吸水及保溫功能，於是開始了一連串研究。

## 貳、研究目的

- 一、探討咖啡渣資料分析，評估取代蛭石的可行性
- 二、比較乾咖啡渣及濕咖啡渣對暖暖包的放熱曲線的影響
- 三、探討不同咖啡渣來源(蒸氣式和濾掛式)的進行暖暖包的放熱曲線分析
- 四、比較篩選出咖啡渣進行研磨顆粒，探討不同研磨程度對暖暖包的放熱曲線影響
- 五、綜合以上實驗，比較放熱曲線後篩選適合條件，放大比例後與市售暖暖包比較
- 六、結合大眾問卷分析了解高中生使用暖暖包的需求，客製化暖暖包
- 七、自製簡易暖暖包及成本分析計算

## 參、研究設備及器材

實驗藥品			
鐵粉/第一化工	氯化鈉/台鹽	活性炭/第一化工	蛭石/第一化工
			
溼咖啡渣/便利超商)	乾咖啡渣/便利超商)	純水	市售暖暖
			
研究設備			
電子天平	紅外線溫度檢測器	保麗龍箱	加熱烘箱
			
濕度計			

## 肆、研究過程或方法

### 一、研究架構



### 二、文獻資料整理

#### (一) 暖暖包成分

每個單價只要10-15元左右的拋棄式暖暖包，是許多怕冷的人最愛的寒冬良伴。它的成分是鐵粉、水、活性碳、蛭石與食鹽，拆封後，透過鐵粉氧化的過程來放熱；根據現行國家標準規定，拋棄式暖暖包最高溫度不可超過70度。因此，購買暖暖包前，消費者除了檢查包裝上的保暖「持續時間」外，還要注意「最高溫度」與「平均溫度」，並詳讀警告標示。雖然暖暖包的溫度不高，但是如果貼附在身體同一個部位過久，熱能累積仍會造成低溫燙傷。從文獻資料，整理出，暖暖包各成分較佳比例為鐵粉：活性碳：食鹽：水：蛭石=6：2：1：1：2。

蛭石是一種層狀結構的含鎂的鋁矽酸鹽次生變質礦物，其化學式為其 $(\text{Mg}_{0.5}, \text{Ca}_{0.5}, \text{Na}, \text{K})_{0.7}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_3[(\text{OH})_2\text{I}(\text{Al}, \text{Si})_2\text{Si}_2\text{O}_{10}] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 。而蛭石片經過高溫焙燒其體積可迅速膨脹6-20倍，膨脹后的比重為60-180kg/m<sup>3</sup>，具有很強的保溫隔熱性能。它對土壤的營養有極大的作用，土壤間營養的轉換，必須有它的協助，因此大量的開採它，會使出產國的土壤營養下降，或是可能導致土壤上的生態產生劇變。當其受熱失水時會膨脹彎曲，使其無法再次使用，導致資源的浪費。而暖暖包裡面的活性碳與蛭石皆具有多孔性結構，這兩個添加物接觸空氣後都會快速的吸收空氣中的水份，幫助鐵粉的加速氧化速率。

## (二)暖暖包作用原理

暖暖包的發熱化學式是  $4\text{Fe}(\text{s}) + 3\text{O}_{2(\text{g})} \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{s})}$   $\Delta H = -826 \text{ KJ/mol}$

鐵粉與空氣中的氧氣進行氧化作用，鐵粉經氧化生鏽後就會放出熱量，但鐵在有水時會更容易進行放熱反應，所以通常會加入食鹽等容易吸收空氣中水分的物質，使反應易於進行，因此添加的食鹽溶解後會變成電解液，可以幫助電子以及離子的轉移，加速鐵的氧化反應，進而加快達到保暖效果。

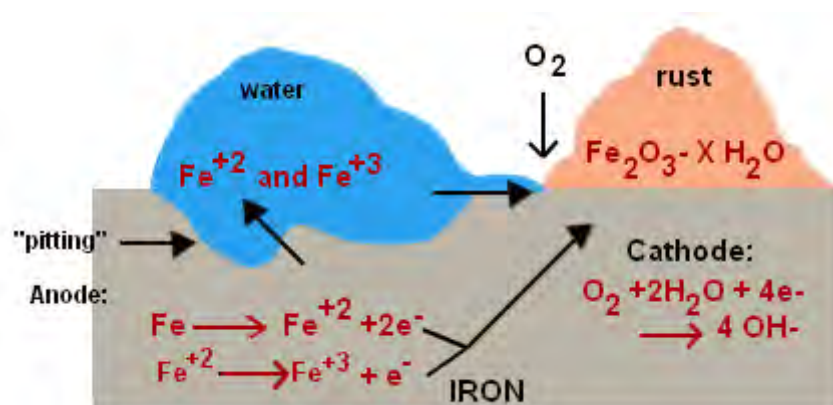


圖 1：鐵粉進行氧化還原示意圖

## (三)咖啡渣產生量及暖暖包使用量數據資料：

近年來，臺灣人對咖啡的需求量越來越高，根據經濟部於 2014 年資料顯示，2013 年咖啡豆進口量達 2.17 萬公噸，若每杯咖啡花 10 公克，則每年喝掉 21.7 億杯，平均每人每年喝 94.3 杯。面對龐大的咖啡渣量，若無妥善的處理方式，將造成環境若大的負擔，目前市面利用咖啡渣可製造出衣服及襪子等生活用品，由於咖啡渣還具有其他成分及功能性，將其乾燥後可作為添加物或原料使用，應用於食品加工及日常生活中，既天然又可達到垃圾減量的效果。而在暖暖包使用量來說，根據 2017 年資料顯示，冬天寒流來臨時，暖暖包的銷量更是大爆發，有量



販業者光在 9 日一天就賣出約 5 萬包，近 3 天銷售 10 萬包，業績比平常高出 5 倍；連鎖超商更是在一天內就賣了 10 萬片暖暖包，比前陣子成長近 3 倍。在本研究中即利用咖啡渣有其多孔性結構，可用於取代暖暖包中蛭石，可大幅減少咖啡渣廢棄，進而發展出咖啡渣多種用途，一舉數得。

表 1: 咖啡渣產生量及暖暖包使用量比較表

成分	總使用量/年	蛭石/包	咖啡渣可製作 近 <b>21.7 億</b> 包 暖暖包
暖暖包	3650 萬包	推估 10.8 克	
成分	總使用量/年	咖啡渣/杯	
咖啡	21.7 億杯	10 克	

### 三、研究方法

#### (一)濕度計操作步驟：

- 1.校正：打開電源鍵→長壓  校正
- 2.量測：按壓  鍵將左下的數字調為 1→再將探針插入咖啡渣中→靜待螢幕出現數後，紀錄所呈現數值。

#### (二)水分含量測定

- 1.動機：由於超商所取得的咖啡渣含有部分水分，為了瞭解咖啡渣所含水分的多寡，利用以下實驗步驟烘乾並利用濕度計來測試咖啡渣的濕度百分比。
- 2.咖啡渣烘乾實驗步驟:
  - (1)從超商取得之咖啡渣，自然風乾後先秤重，並記錄其重量。
  - (2)取咖啡渣放置於培養皿中於 100~105℃烘箱中加熱 1 小時，以利水分蒸發。
  - (3)取出後置於乾燥器內冷卻到室溫，取出置於電子天平稱重並記錄，重複步驟直到恆重為止。
  - (4)利用濕度計測試濕度，直至濕度計顯示為 0%。

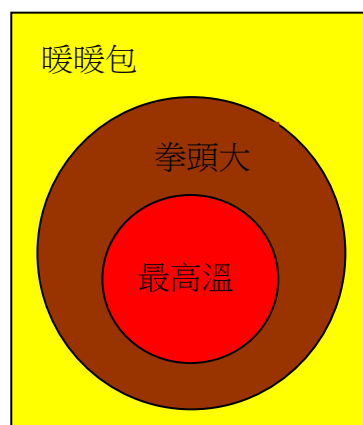
#### (三)溫度檢測器取點說明

- 1.動機：鑒於利用紅外線溫度檢測器所量取的溫度為單一點，我們利用所量測到最高溫後，在附近範圍另收集 9 點溫度後，將其數值取平均值後，即為平均溫度，並利用 excel



計算出標準差(如備註一：實驗數據圖)。

## 2. 檢測暖暖包溫度示意圖



## 三、實驗過程

### (一) 實驗一：探討咖啡渣資料分析，評估取代蛭石的可行性

1. 動機：為了尋找取代蛭石的替代物，從文獻資料篩選出咖啡渣具有與蛭石相似結構，著手研究替代蛭石的實驗，評估取代蛭石的可行性。

2. 步驟：

(1) 以電子天平秤出以下藥品。

鐵粉	活性炭	食鹽	蛭石
12g	4g	2g	4g

(2) 將以上藥品加入市售暖暖袋中，加入純水 2mL。

(3) 將不織布封口後，混合均勻，並放入保麗龍箱中。

(4) 開始測量其溫度(溫度取點如上所述)，每 5 分鐘量測溫度乙次，觀察暖暖包放熱曲線直至 10 小時。

(5) 重複上述實驗，秤取咖啡渣 4g 取代蛭石，比較其放熱曲線。

### (二) 實驗二：比較乾咖啡渣及濕咖啡渣對暖暖包的放熱曲線的影響

**方法及過程**：為了解咖啡渣含水量是否會影響暖暖包放熱曲線，先將咖啡渣完全乾燥後再將其水分添加至暖暖包中，比較乾咖啡渣及濕咖啡渣對暖暖包放熱曲線的影響。

### (三) 實驗三：探討不同咖啡渣來源(蒸氣式和濾掛式)的進行暖暖包的放熱曲線分析

**方法及過程**：咖啡沖泡方式大致可分為義式濃縮(蒸氣式)及濾掛式兩種，為了解不同咖啡渣來源是否會造成暖暖包放熱曲線的影響，而進行研究。咖啡渣加入量為 2g、4g、6g。

### (四) 實驗四：比較篩選出咖啡渣進行研磨顆粒，探討不同研磨程度對暖暖包的放熱曲線影響

**方法及過程**：從實驗二、三篩選出咖啡渣來源及添加量後，探討研磨程度不同(20 秒研磨

1 次或 20 秒研磨 5 次)，來進行咖啡渣顆粒大小對暖暖包放熱曲線的比較。

(五)實驗五：綜合以上實驗，比較放熱曲線後篩選適合條件，放大比例後與市售暖暖包比較

**方法及過程**：由以上實驗可得知咖啡渣添加至暖暖包後，有其一定效果，為了與市售暖暖包一同比較，將篩選出實驗二至四較佳實驗結果比例後，放大其比例與市售暖暖包一同比較放熱曲線。每 5 分鐘量測溫度乙次，直至 10 小時，之後為 1 小時量測乙次，直至 24 小時為止。

(六)實驗六：結合大眾問卷分析了解高中生使用暖暖包的需求，客製化暖暖包

**方法及過程**：設計問卷了解高中生使用暖暖包習慣，是較注重最高溫度還是溫度的持續性，結合本實驗的結果，客製化暖暖包。

(七)實驗七：自製簡易暖暖包及成本分析計算

**方法及過程**：簡單設計出自製暖暖包步驟，可自行在家，即可享受親子間一起 DIY 的樂趣，可以廢物再利用，並計算出成本，能夠省下寒冬買暖暖包的錢，可謂一箭「三」雕。

## 伍、研究結果

一、實驗一：探討咖啡渣資料分析，評估取代蛭石的可行性

(一)比較有無蛭石加入對暖暖包放熱曲線影響

1.實驗數據

表 2 有無蛭石加入對暖暖包放熱溫度數據表

鐵粉 12 克、活性碳 4 克、氯化鈉 2 克、水 2 克			
變因	重量	最高溫(°C) / 分鐘	溫度維持 40°C 以上的時間
1. 蛭石	4g	53 / 20	55 分鐘
2. 無蛭石	0g	42.1 / 35	20 分鐘

2.實驗圖形



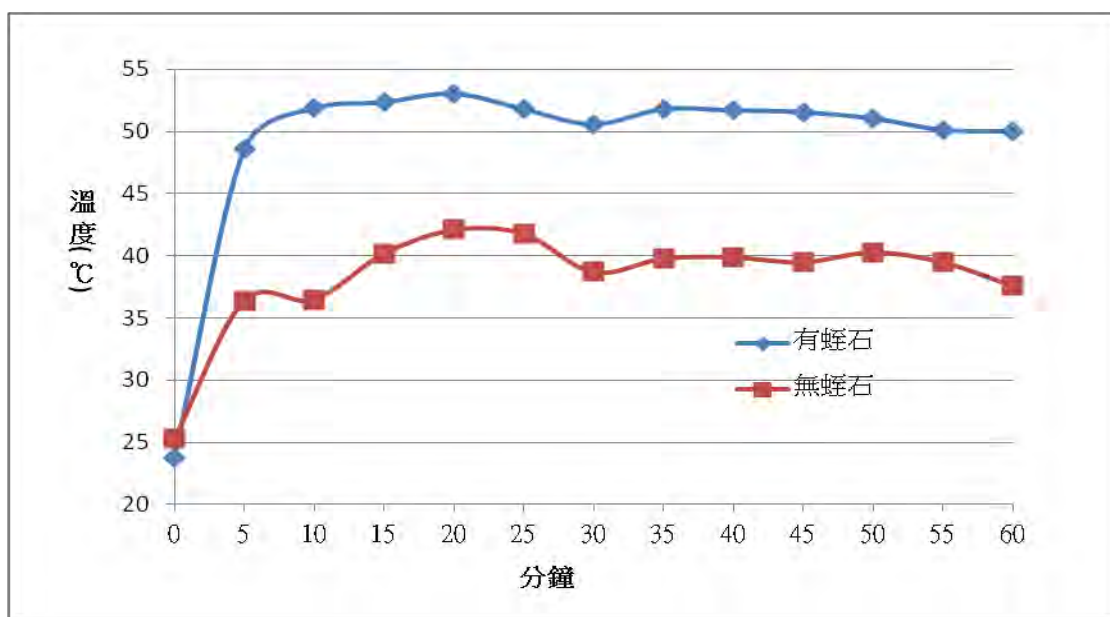


圖 1 有無蛭石對暖暖包的放熱曲線圖

### 3.實驗討論

由上圖可以觀察在無蛭石的實驗中可以發現，在一開始升溫速度慢，而且溫度僅維持在 36.4°C，由此可知蛭石在暖暖包裡所扮演的角色，是因為蛭石有多孔性結構，在接觸空氣後能快速的吸收空氣中的水份，幫助鐵粉的加速氧化速率，同時具有很強的保溫隔熱性能。(二) 比較加入蛭石或咖啡渣對暖暖包放熱曲線的影響

#### 1.實驗數據

表 3 有蛭石或咖啡渣加入對暖暖包放熱溫度數據表

鐵粉 12 克、活性碳 4 克、氯化鈉 2 克、水 2 克			
變因	重量	最高溫(°C)/ 分鐘	溫度維持 40°C 以上的時間
1. 蛭石	4g	53 / 20	55 分鐘
2. 咖啡渣	4g	50.2 / 40	55 分鐘

#### 2.實驗圖形

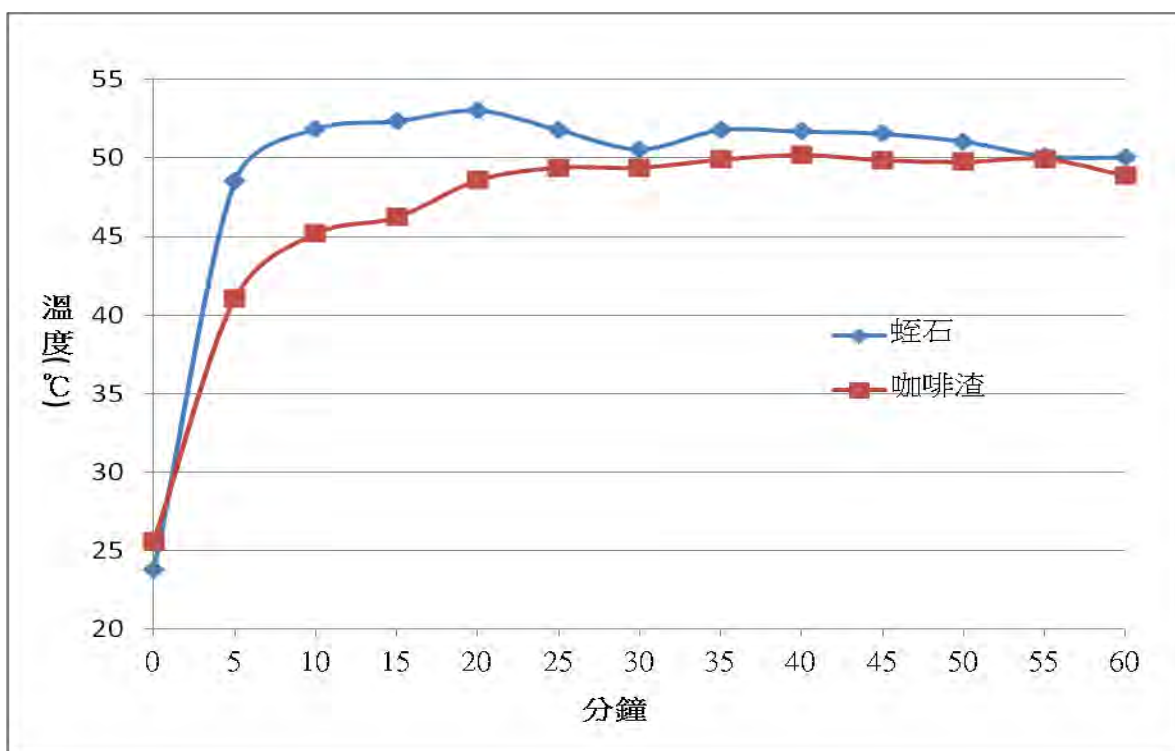


圖 2 蛭石及濕咖啡渣對暖暖包放熱曲線圖

### 3. 實驗討論

由上圖得知，整體而言兩者放熱曲線相似，雖然一開始升溫速率為蛭石高於咖啡渣，但在 30 分鐘後，並無兩者曲線幾乎一致，且咖啡渣放熱曲線更為平穩，由此可知，咖啡渣是可以添加在暖暖包，用來取代蛭石，用此證明本研究想法是可行的。

## 二、實驗二:比較乾咖啡渣及濕咖啡渣對暖暖包的放熱曲線的影響

### 1. 實驗數據：

表 4 乾咖啡渣及濕咖啡渣加入對暖暖包放熱溫度數據表

鐵粉：12 公克、活性碳：4 公克、氯化鈉：2 公克、水：2 公克					
變因 \ 數據	重量	濕度		最高溫(°C) / 分鐘	溫度維持 40°C 以上的時間
		前	後		
乾咖啡渣	4g	0%	0%	36.4 / 35	無
濕咖啡渣	4g	74%	63.9	50.2 / 40	55 分鐘

### 2. 實驗圖形

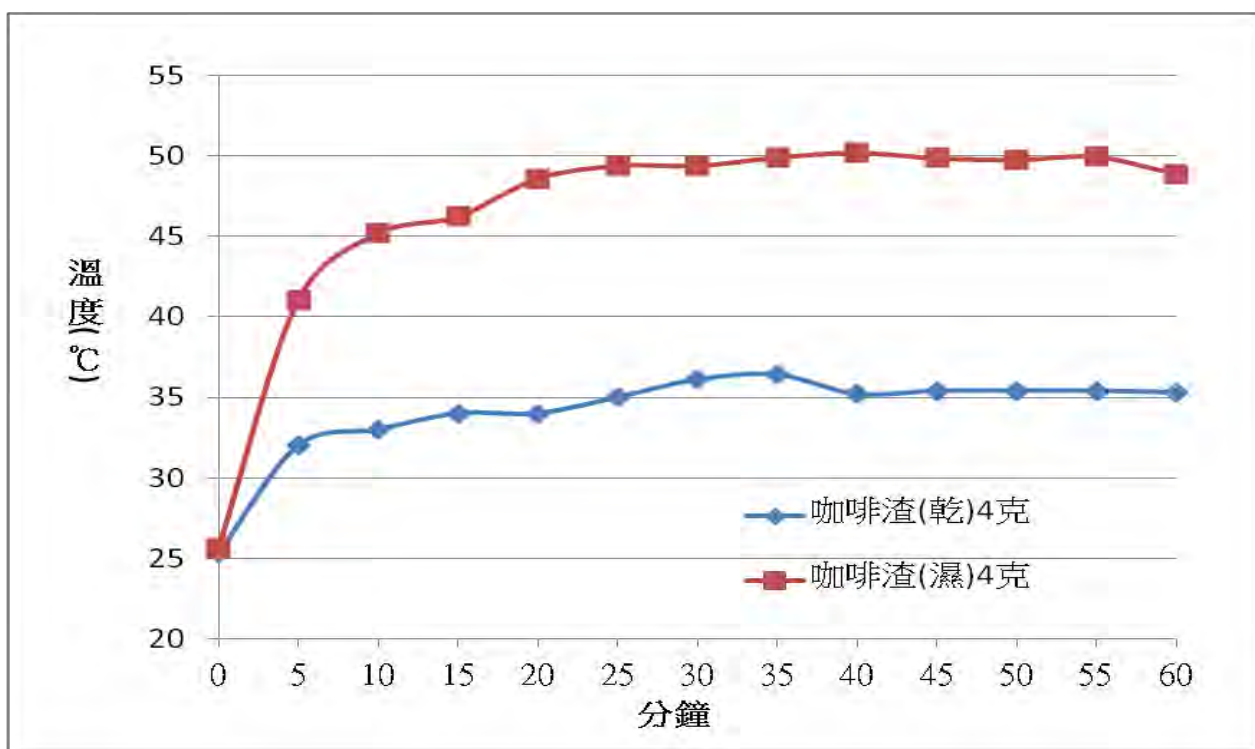


圖 3 乾咖啡渣及濕咖啡渣對暖暖包放熱曲線圖

### 3.實驗討論：

從上圖可知乾溼咖啡渣的起始溫度都是 25.3℃，濕咖啡渣一開始升溫速率較快，可見含水的咖啡渣與食鹽反應有快速催化效果；濕咖啡渣在 40 分鐘時，可以達到最高溫 50.2℃，而乾咖啡渣則是在 35 分鐘時，才升到最高溫 36.4℃，而在 40 分鐘之後的溫度持久度趨勢來看，是兩者曲線類似，一樣平穩，但放熱溫度為濕咖啡渣>乾咖啡渣。所以後續實驗將以不烘乾咖啡渣為本研究的方向。

### 三、實驗三：探討不同咖啡渣來源(蒸氣式和濾掛式)的進行暖暖包的放熱曲線分析

#### (一)實驗數據：

表 5 不同咖啡渣來源(蒸氣式和濾掛式)暖暖包放熱溫度數據表

鐵粉：12 公克、活性碳：4 公克、氯化鈉：2 公克、水：2 公克					
變因 \ 數據	重量	濕度		最高溫/分鐘	溫度維持 40℃ 以上的時間
		前	後		
濾掛式	2 克	74%	18.7%	46.38 / 20	55 分鐘

	4 克	74%	20.4%	48.47 / 30	55 分鐘
	6 克	74%	25.3%	44.28 / 45	50 分鐘
蒸氣式	2 克	63.8%	25.7%	52.72 / 25	55 分鐘
	4 克	63.8%	63.9%	50.2 / 40	55 分鐘
	6 克	63.8%	71.1%	48.66 / 40	50 分鐘

## (二)實驗圖形

### 1. 60 分鐘內放熱曲線圖

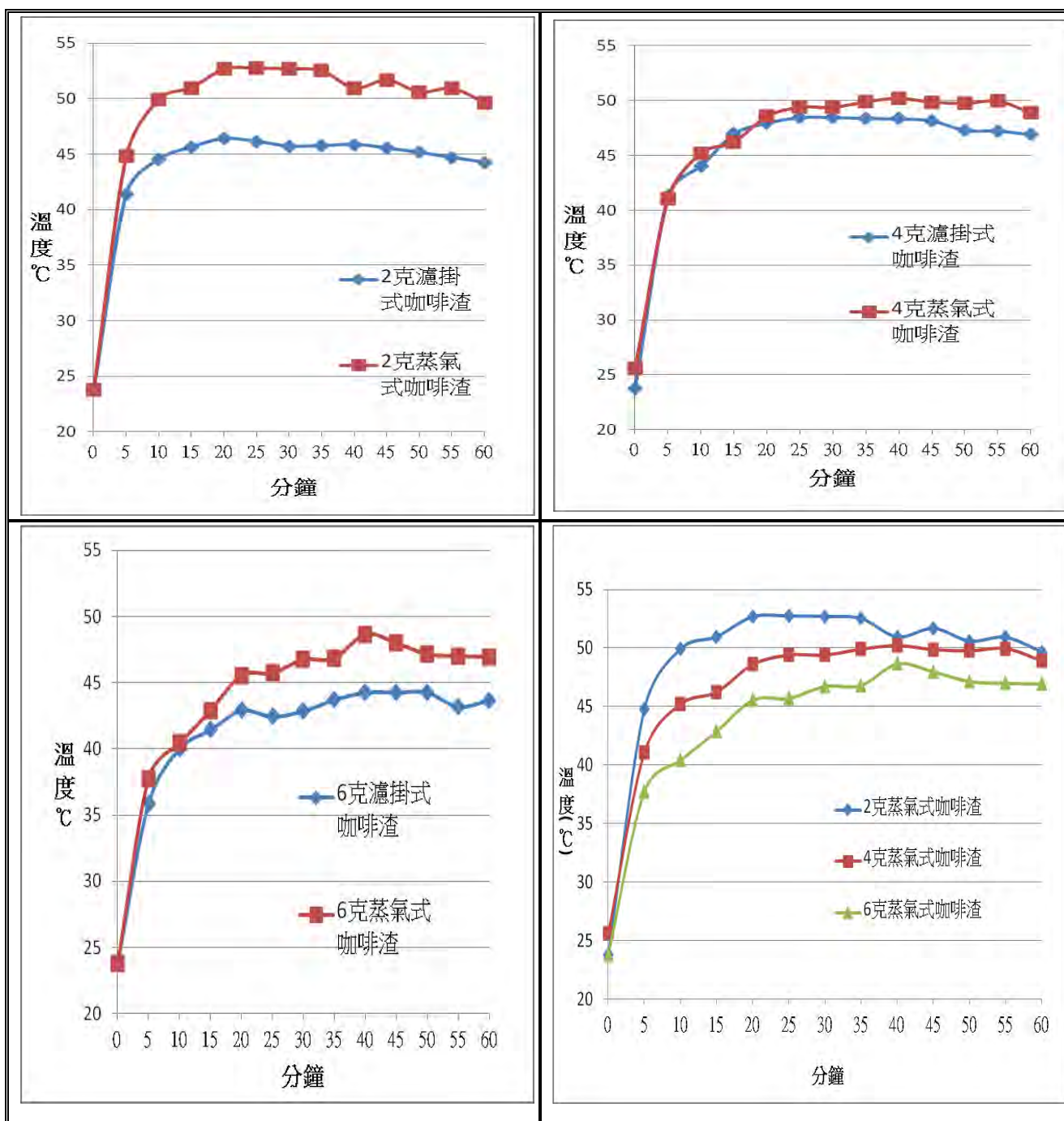
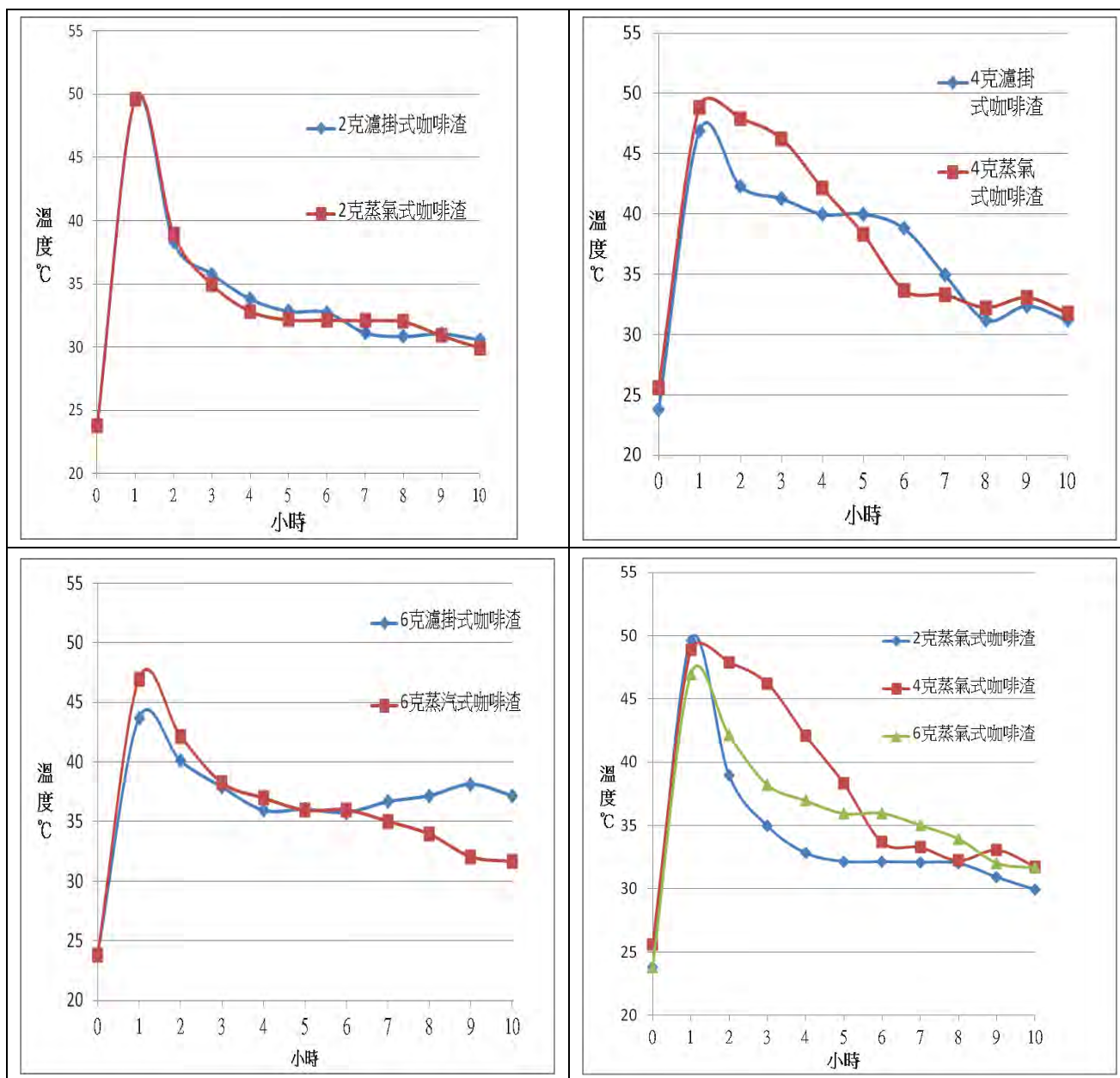


圖 4 2 種咖啡渣來源在不同添加重量下 60 分鐘內放熱曲線圖

## 2.實驗討論：

從圖表可得知蒸氣式咖啡渣，不論添加量是 2 克、4 克、6 克，放熱溫度都比濾掛式還來得穩定及高溫，尤其是以 2 克更為明顯，最高溫可高達 52.78℃。在 1 小時內，不管咖啡渣來源為何，添加 2 克咖啡渣都可以獲得較高溫度。

### 3. 10 小時內放熱曲線圖





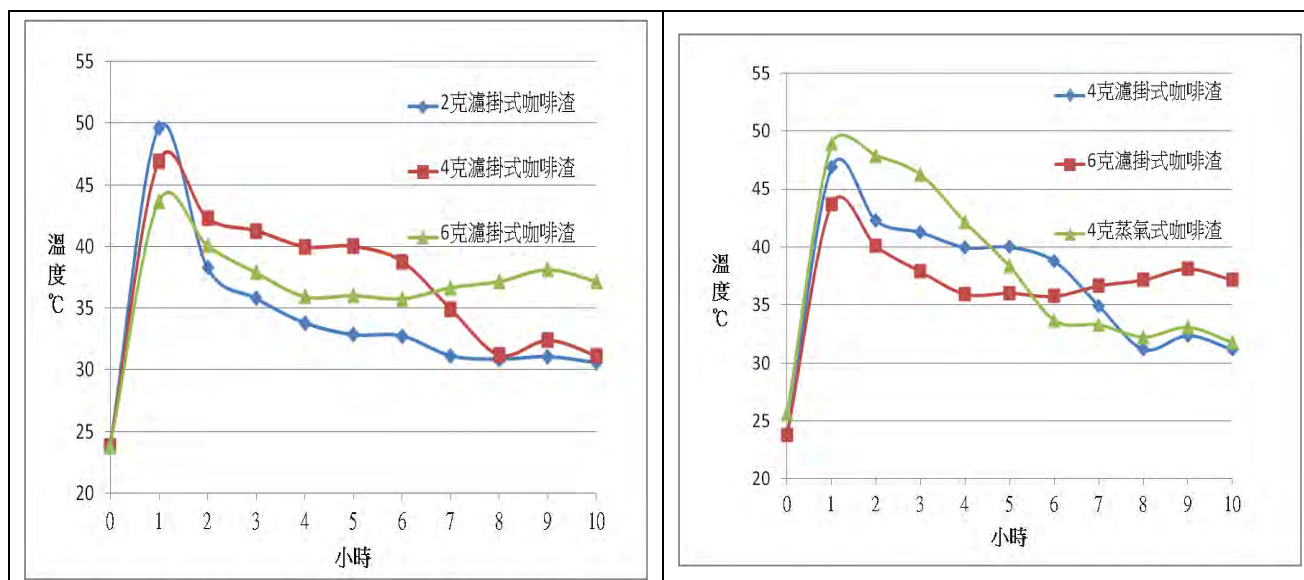


圖 5 2 種咖啡渣來源在不同添加重量下 10 小時內放熱曲線圖

#### 4.實驗討論:

- (1)從圖表可得知蒸氣式咖啡渣，不論添加量是 2 克、4 克、6 克，放熱溫度都比濾掛式還來得穩定及高溫，在 1 小時以後，4 克蒸氣式在溫度持久性有較佳的表現。
- (2)2 克添加量中，蒸氣式與濾掛式兩者溫度相似，溫差不到 2 度，可以說是幾乎有著一樣的曲線。
- (3)4 克添加量中，溫度起伏很大，在 1 到 4 小時中蒸氣式的溫度高於濾掛式，但在第 5 小時發生轉折，直到第 7 小時，最後曲線才趨於相似。
- (4)比較 4 克蒸氣式、4 克濾掛式及 6 克濾掛式放熱曲線，得到以下結論，4 克蒸汽式升溫曲線快，但降溫速度也快，而濾掛式雖然升溫速率較差，但降溫速度較平緩。

#### 四、實驗四：比較篩選出咖啡渣進行研磨顆粒，探討不同研磨程度對暖暖包的放熱曲線影響

##### (一)實驗數據：

表 6 不同研磨程度對暖暖包放熱溫度數據表

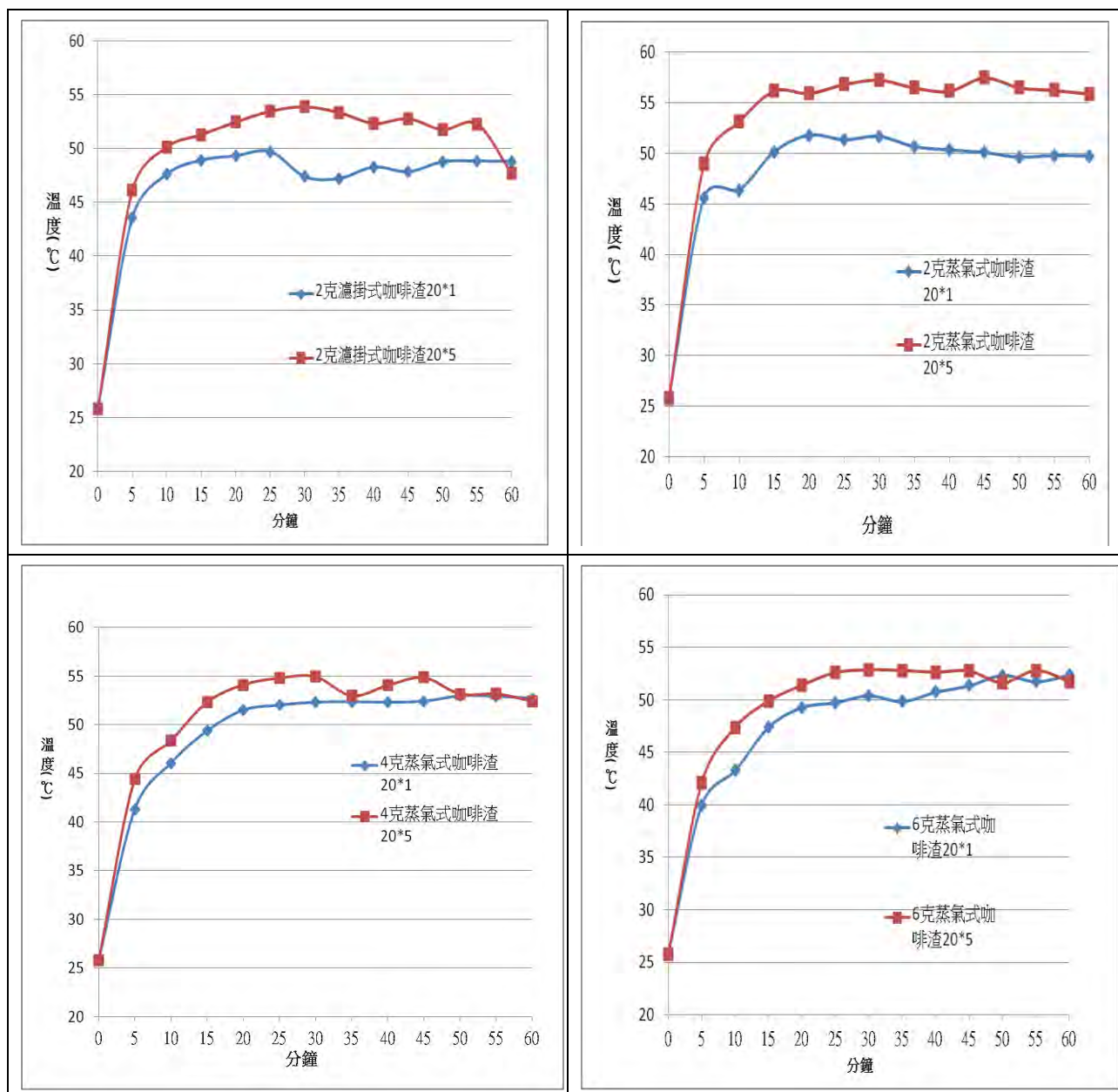
鐵粉：12 公克、氯化鈉：2 公克、活性碳：4 公克、水：2 公克					
變因(研磨程度)	重量	濕度		最高溫/分鐘	溫度維持 40℃ 以上的時間
		前	後		
濾掛式咖啡渣 20*1	2 克	84.4%	10.4%	49.7 / 25	55 分鐘
蒸氣式咖啡渣 20*1	2 克	74.2%	10.9%	51.78 / 20	55 分鐘
蒸氣式咖啡渣 20*1	4 克	74.2%	16%	52.94 / 50	55 分鐘
蒸氣式咖啡渣 20*1	6 克	74.2%	11.7%	52.35 / 60	50 分鐘



濾掛式咖啡渣 20*5	2 克	88.6%	6.4%	53.86 / 30	55 分鐘
蒸氣式咖啡渣 20*5	2 克	84.1%	7.9%	57.26 / 30	55 分鐘
蒸氣式咖啡渣 20*5	4 克	84.1%	6.4%	54.93 / 30	55 分鐘
蒸氣式咖啡渣 20*5	6 克	84.1%	6.1%	52.84 / 30	55 分鐘

## (二)實驗圖形

### 1. 60 分鐘內放熱曲線圖



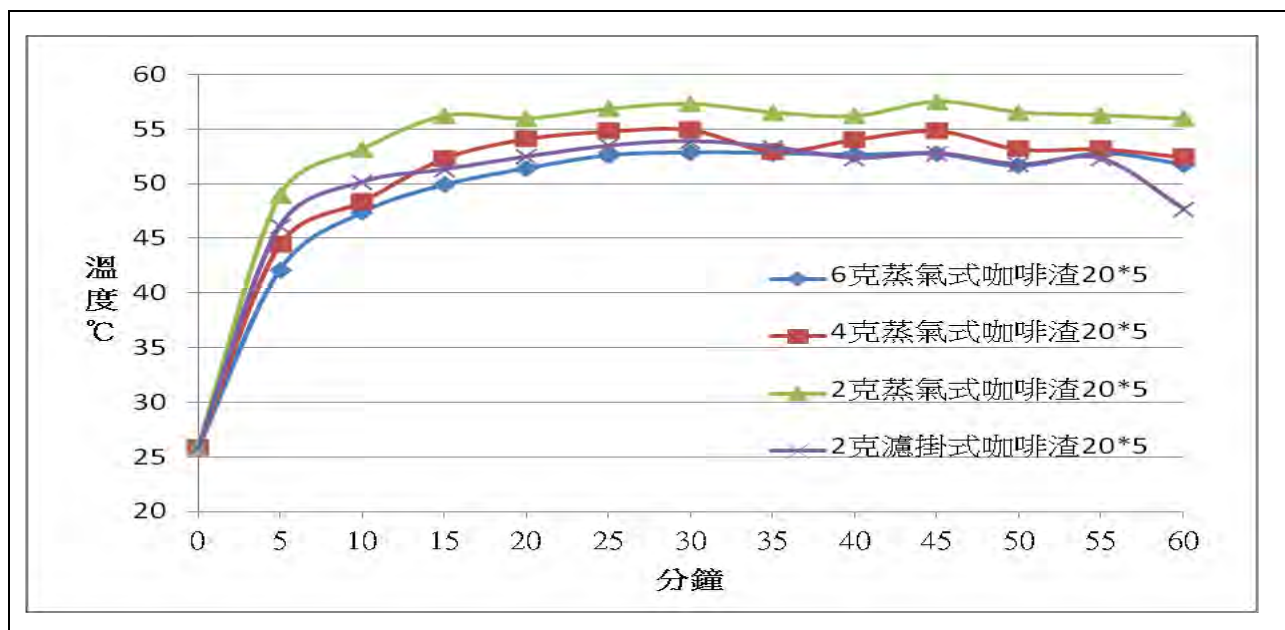
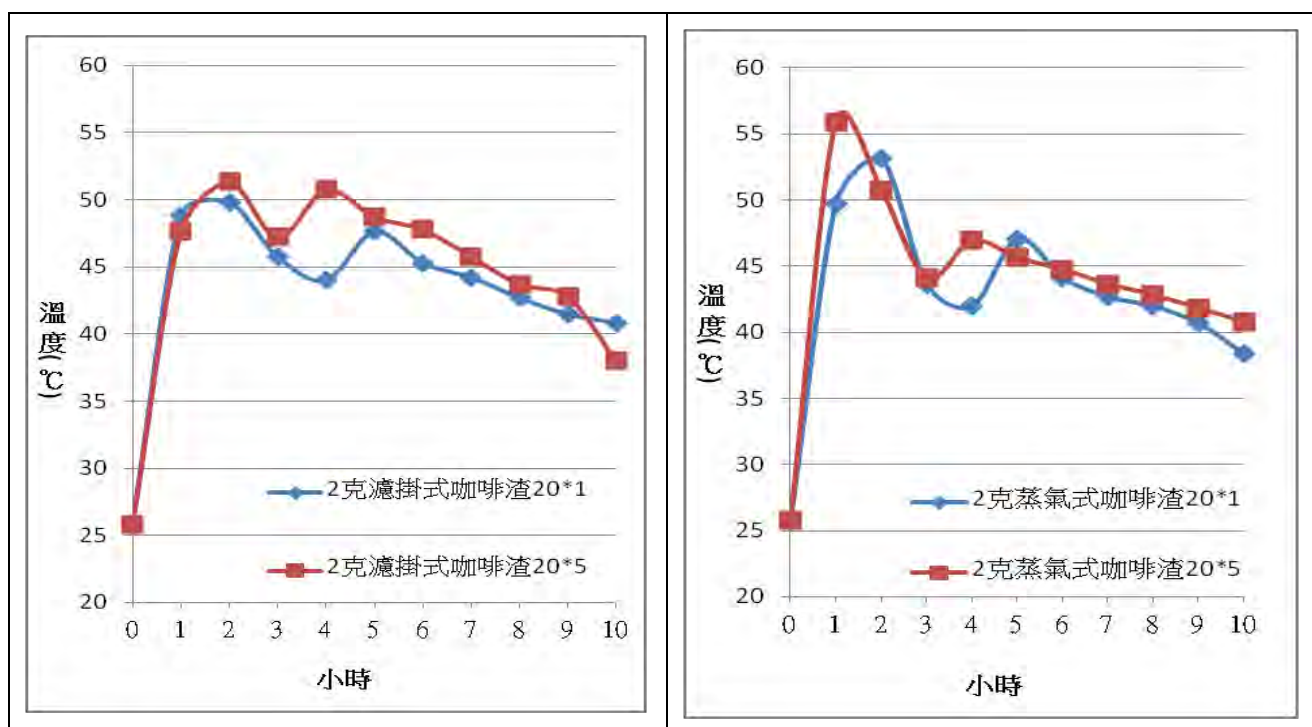


圖 6 2 種咖啡渣來源在不同研磨程度下 60 分鐘內放熱曲線圖

## 2. 實驗討論：

由上圖可以得知有研磨過會比未研磨放熱效果好，而研磨程度 20\*5 效果又比 20\*1 的效果來得佳，尤其是在 2 克蒸氣式咖啡渣中甚為明顯，溫度差高達 5 度以上，可見得研磨可增加其表面積，增快鐵粉的氧化速率。

## 3. 10 小時內放熱曲線圖



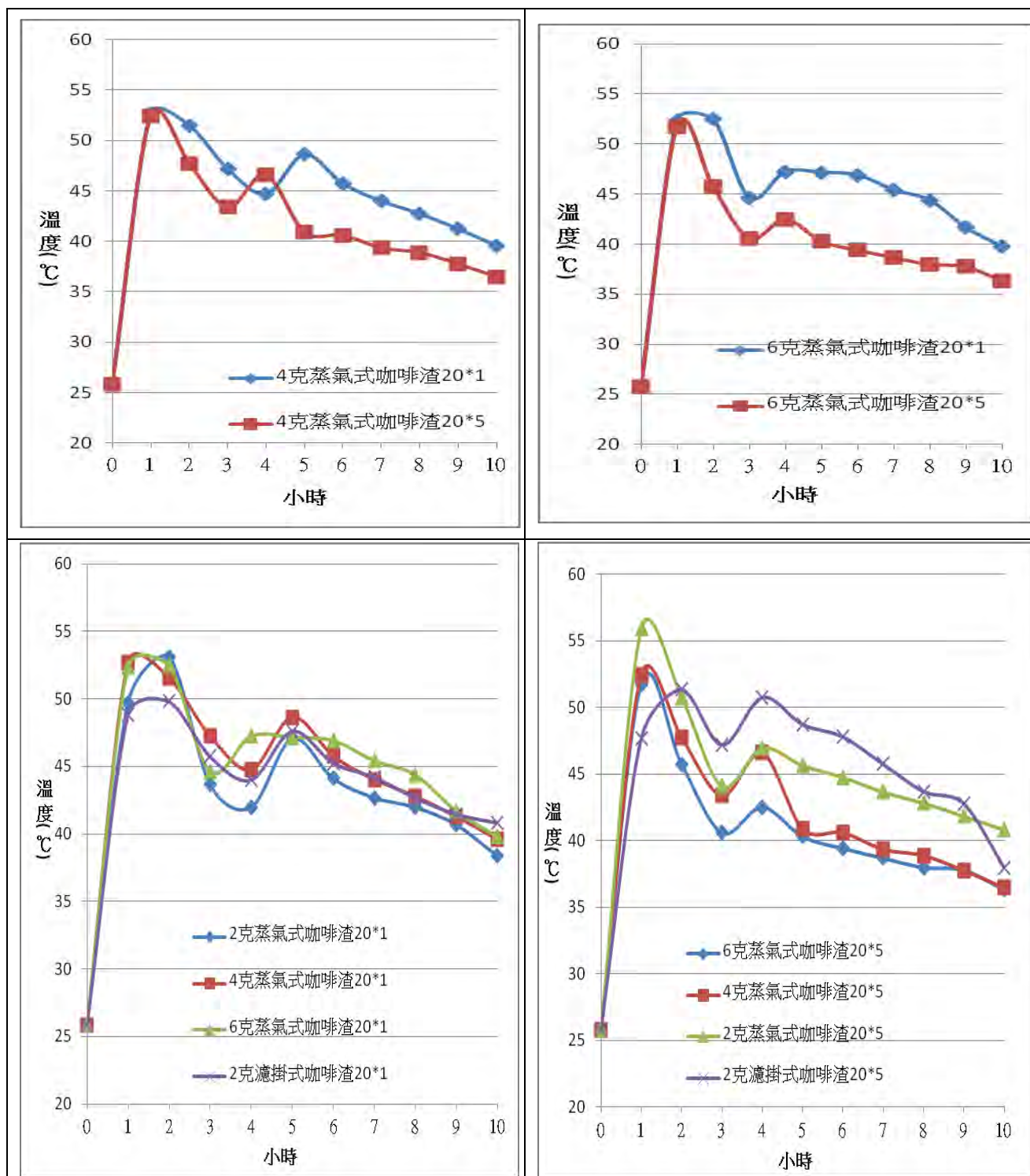


圖 7 2 種咖啡渣來源在不同研磨程度下 10 小時內放熱曲線圖

#### 4.實驗討論：

在 10 小時的放熱溫度比較圖表中，我們可以得到以下結論：

- (1)在咖啡渣添加量為少量(2 克)時，研磨程度 20\*5 會優於 20\*1，但溫度差異並不大，可是當在添加量增加為 4 克及 6 克時，反而相反。且溫度差異可高達 10°C 以上，可見得研磨可讓

反應速率提升，但卻無法使溫度持續，我們推測原因在於咖啡渣結構會因研磨而有所改變，造成保溫能力下降所致。

(2)不管蒸氣式或濾掛式，在研磨 20\*1 時，其升溫速度及降溫速度近似相同，並且都比未研磨時的溫度還得高，且降溫速度也較平緩，並不會有太劇烈變化。

(3)綜合比較後可發現，蒸氣式 2 克(20\*5)升溫速度是所有實驗中最顯著，但濾掛式 2 克(20\*5)卻是擁有較平緩的降溫曲線。

## 五、實驗五：綜合以上幾項實驗,挑選幾項比例並放大其比例和市售比較

(一)實驗數據：

表 7 放大比例自製暖暖包與市售暖暖包配方數據表

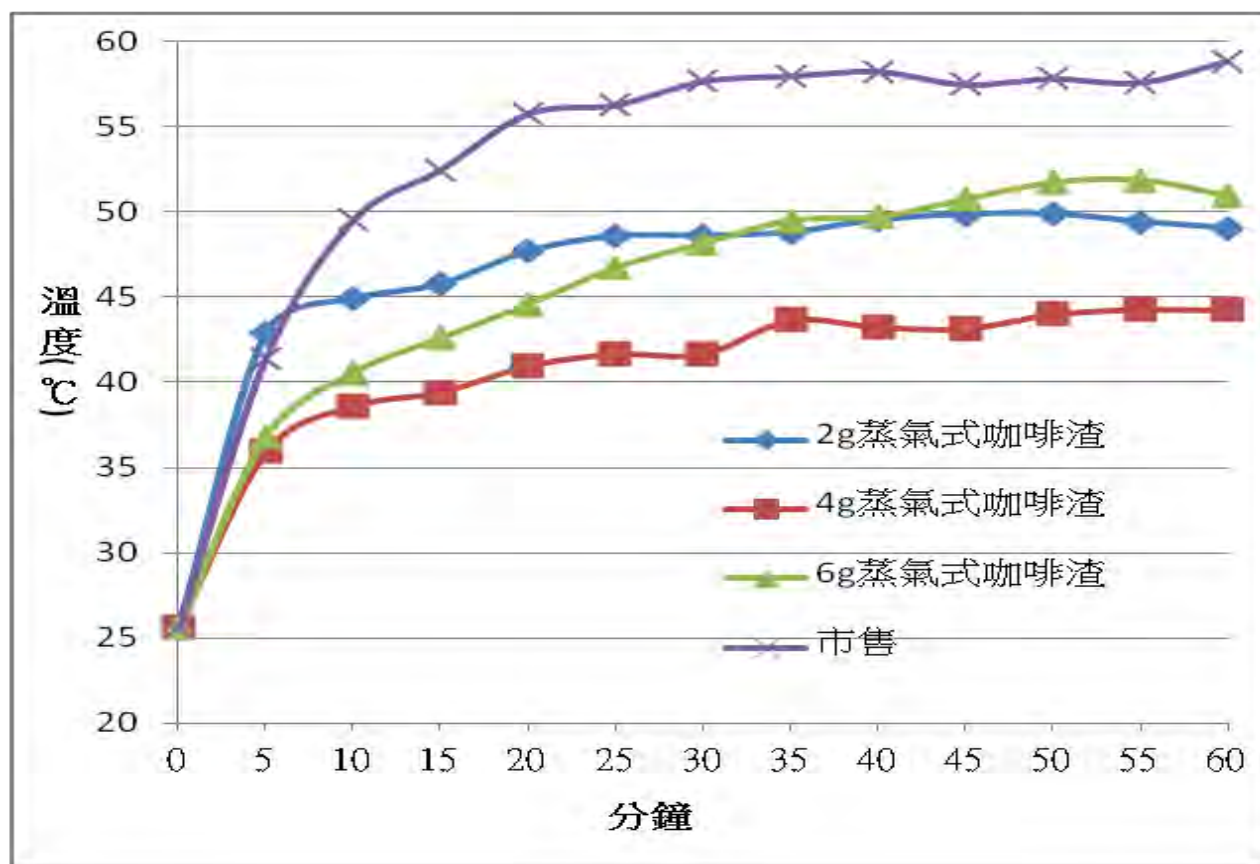
比例	活性炭	鐵粉	氯化鈉	水	蒸氣式 咖啡渣 (濕)	實驗前 濕度	實驗後 濕度	備註
市售							30%	
2g 蒸氣式	11.8 克	35.4 克	5.9 克	5.9 克	5.9 克	53.8%	12.6%	
4g 蒸氣式	10.8 克	32.5 克	5.4 克:	5.4 克:	10.8 克	53.8%	16.2%	
6g 蒸氣式	10 克	30 克	5 克	5 克	15 克	53.8%	14.9%	
2g 蒸氣式	11.8 克	35.4 克	5.9 克	5.9 克	5.9 克	52.8%	10.6%	20*5
4g 蒸氣式	10.8 克	32.5 克	5.4 克:	5.4 克:	10.8 克	52.8%	9.0%	20*5
4g 蒸氣式	10.8 克	32.5 克	5.4 克:	5.4 克:	10.8 克	34.1%	10.5%	20*1
2g 濾掛式	11.8 克	35.4 克	5.9 克	5.9 克	5.9 克	52.8%	7.9%	20*5
蛭石	10.8 克	32.5 克	5.4 克:	5.4 克:	5.4 克:		20.8%	

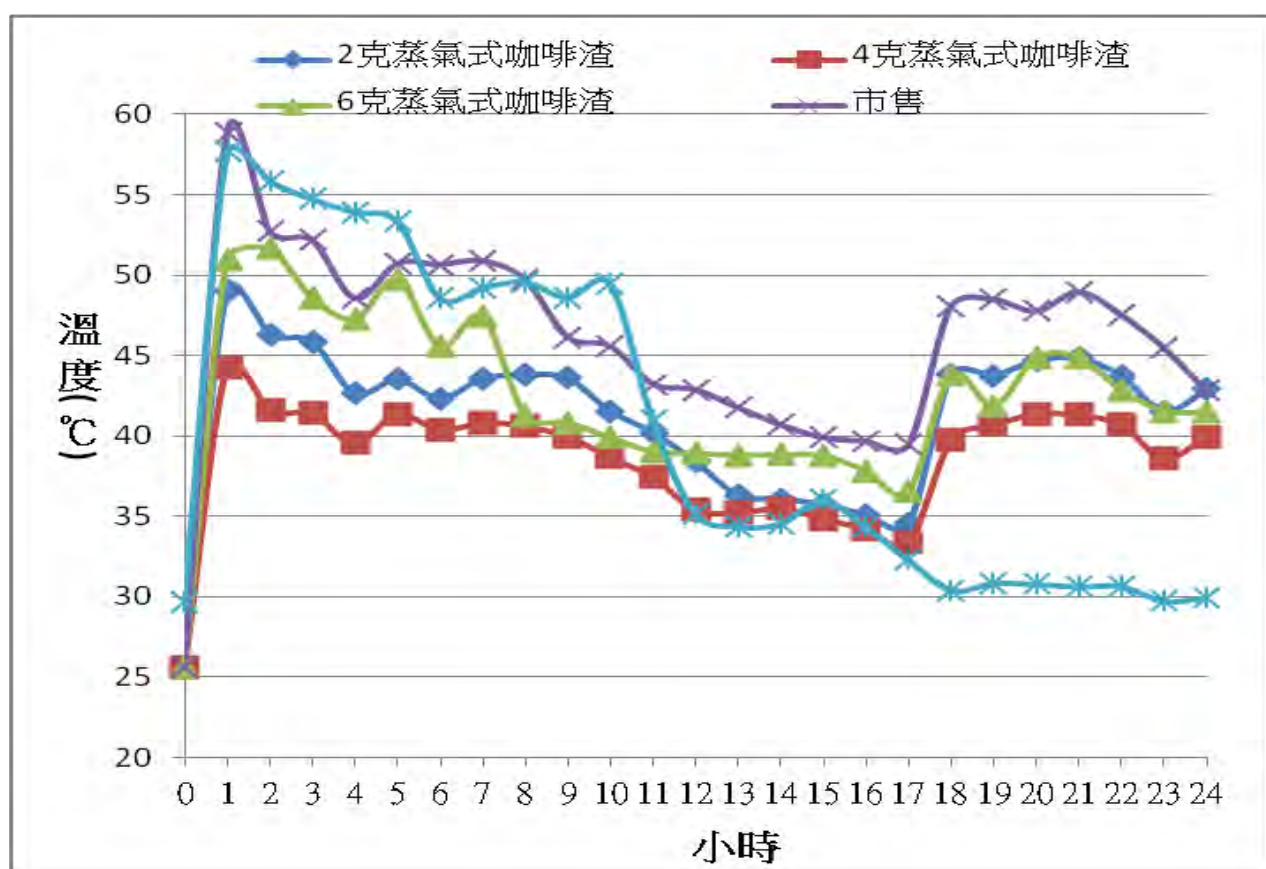
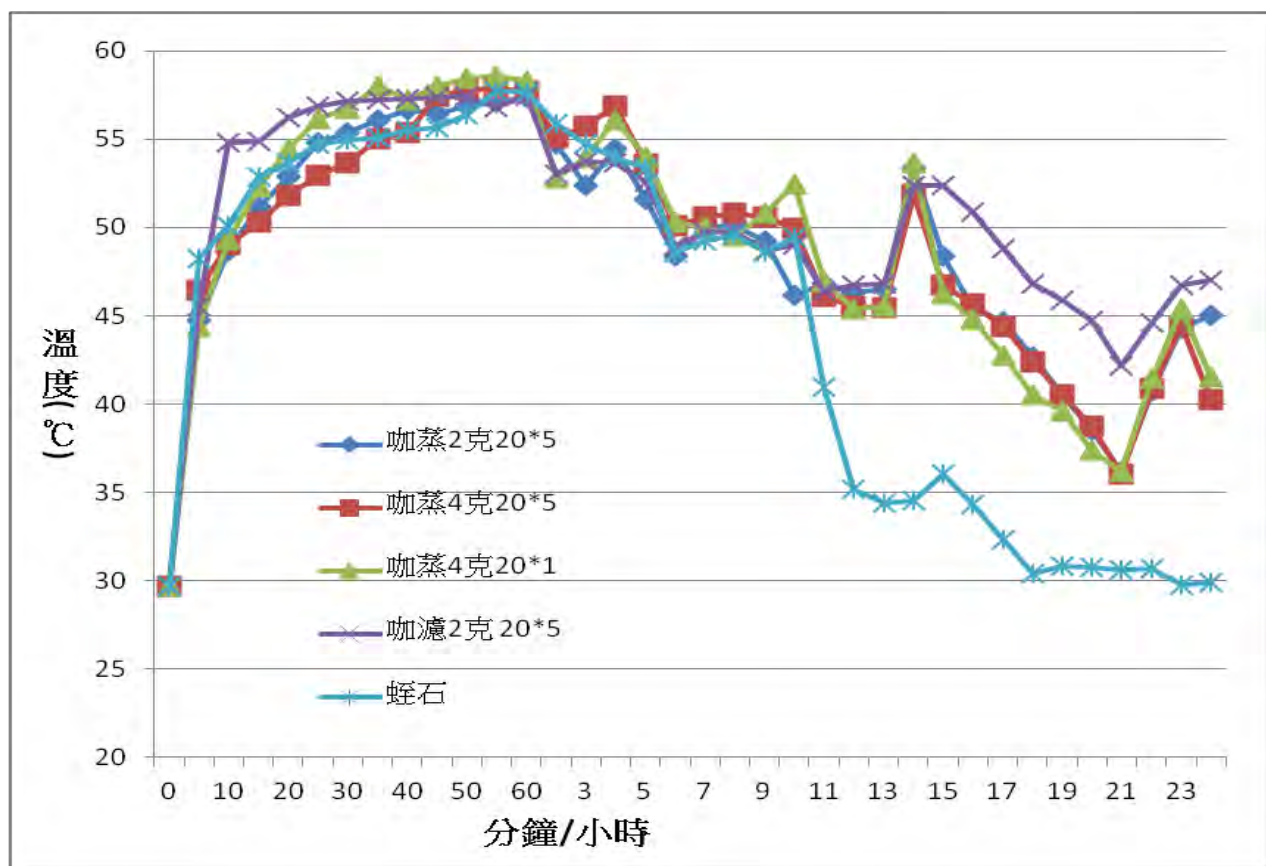


表 8 放大比例自製暖暖包與市售暖暖包放熱溫度數據表

變因 \ 數據	最高溫/分鐘	溫度維持 40℃ 以上的時間	第 24 小時的溫度 (℃)
市售	58.84 / 60	10 小時	40.81
2g 蒸氣式	49.86 / 50	9 小時	38.35
4g 蒸氣式	44.28 / 55	8 小時 45 分鐘	39.57
6g 蒸氣式	51.85 / 55	8 小時 55 分鐘	39.77
2g 蒸氣式 20*5	57.38 / 60	22 小時	45.02
4g 蒸氣式 20*5	57.87 / 55	22 小時	40.26
4g 蒸氣式 20*1	58.56 / 55	21 小時	41.55
<b>2g 濾掛式 20*5</b>	<b>57.44 / 60</b>	<b>24 小時</b>	<b>47.04</b>
蛭石	57.76 / 55	11 小時	29.94

## (二)實驗圖形







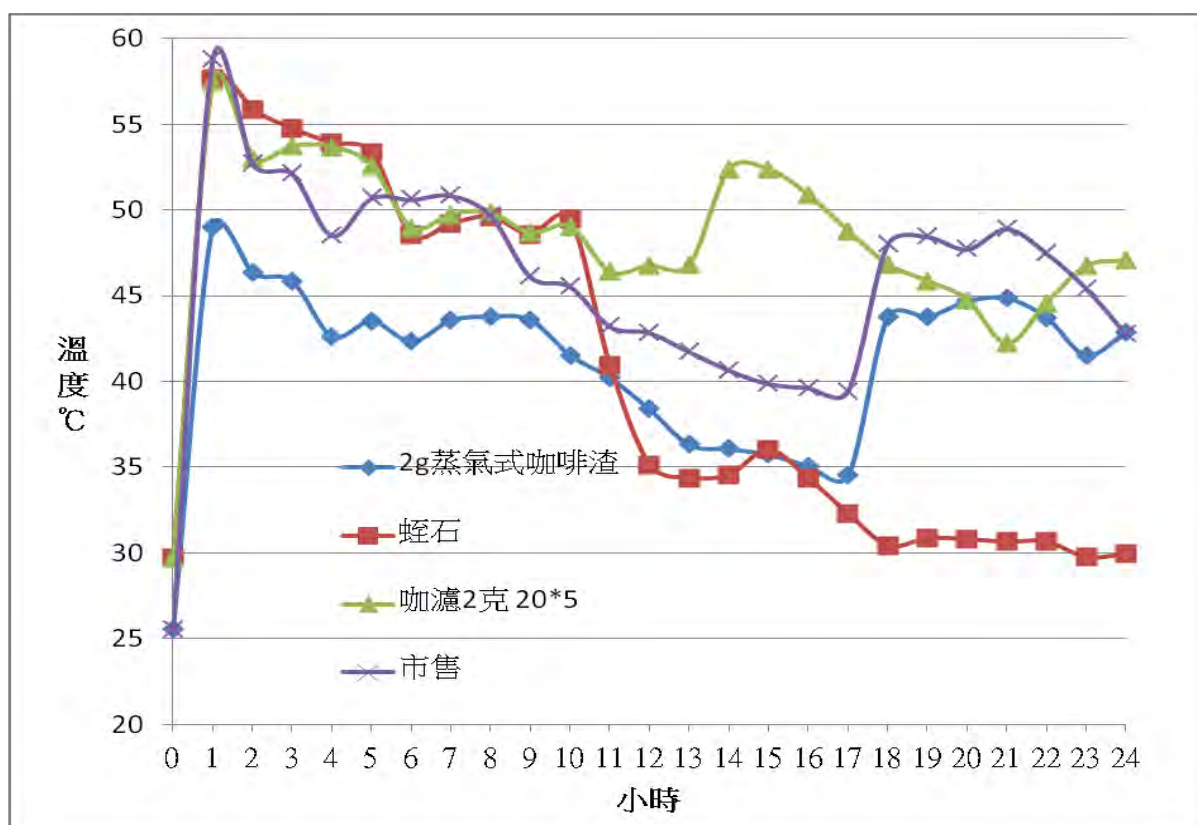


圖 8 放大比例自製暖暖包與市售暖暖包 24 小時內放熱曲線圖

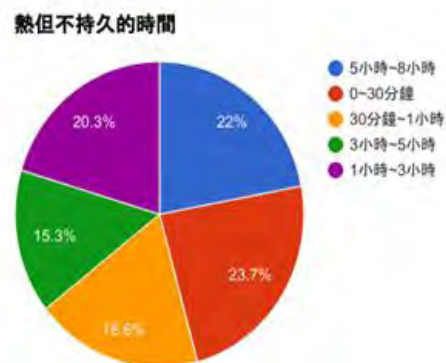
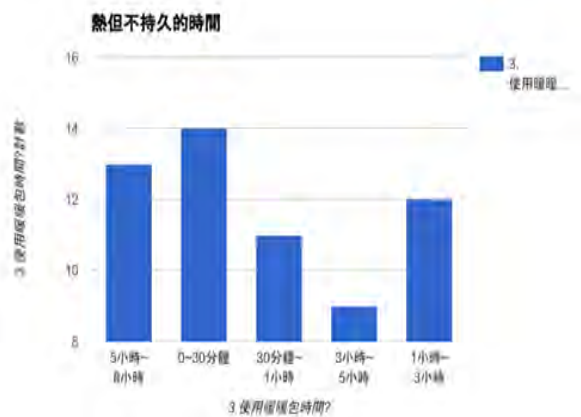
### (三)實驗討論：

由上圖可得知，我們個別篩選出在各個變因中表現較佳的放熱曲線，放大比例與市售暖暖一較高下，可以得知 2g 濾掛式(20\*5)的咖啡渣，持續放熱到第 24 小時後仍有 **47.04°C** 的高溫，且在升溫速度及溫度持續性與市售比較，毫不遜色，可見得本研究已經成功找到利用咖啡渣取代蛭石的最佳配方。

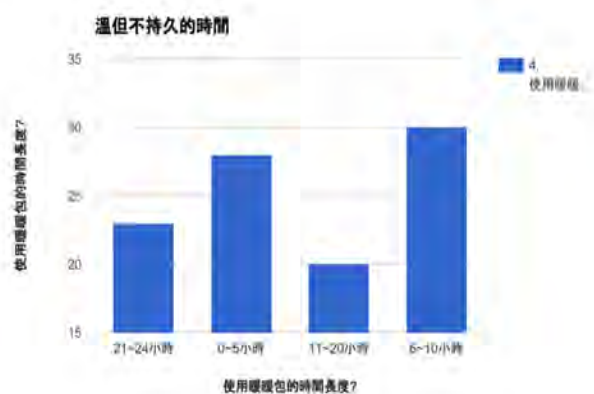
## 六、實驗六：結合大眾問卷分析了解高中生使用暖暖包的需求製作客製化暖暖包

### (一)對暖暖包使用習慣的問卷分析

#### 1.實驗數據圖表及結論



由問卷資料顯示，如果較喜歡溫度高，對其高溫時間要求須持續在一開始的 30 分鐘內。








由問卷資料顯示，如果較不喜歡溫度高，對其溫度持續時間要求須能持續 6~10 小時。

因此，依據問卷結果，客製化暖暖包比例，我們建議如下:

喜好暖暖包種類	建議配方	咖啡渣處理
溫度高但短時間	活性碳 11.8 克:鐵粉 35.4 克:氯化鈉 5.9 克:水 5.9 克: 5.9 克	2g 蒸氣式咖啡渣(20*5)
溫度穩定但長時間	活性碳 11.8 克:鐵粉 35.4 克:氯化鈉 5.9 克:水 5.9 克: 5.9 克	2g 濾掛式咖啡渣(20*5)

## 七、實驗七：自製簡易暖暖包及成本分析計算

### (一)自製簡易流程圖

1.濾掛式咖啡渣	2.氯化鈉	3.鐵粉	4.活性碳	5.水
				
先秤取約 5.9 公克咖啡渣	秤取約 5.9 公克氯化鈉	秤取約鐵粉 35.4 克	秤取活性碳約 11.8 克	取得約 5.9 克的水



將 1 到 5 號的物品加入暖暖包(不織布)中後，將缺口密封後，即可使用	
--------------------------------------	---

### (二)成本計算

市售價格:15 元					
成分	活性碳	鐵粉	氯化鈉	水	濾掛式咖啡渣
價格	1g = 0.13 元 0.13 * 11.8 = 1.534	1g = 0.19 元 0.19 * 35.4 = 6.726	1g = 0.015 元 0.015 * 5.9 = 0.0885	0 元	0 元
成本	1.534 + 6.726 + 0.0885 = 8.3485 元				
每包可省下	15 - 8.345 = <b>6.655 元</b>				

## 陸、討論

一、經由實驗一，我們可知蛭石在暖暖包裡所扮演的角色，是能快速的吸收空氣中的水份，幫助鐵粉的加速氧化速率及保溫隔熱性，同時從兩者放熱曲線幾乎一致來看，本研究利

用咖啡渣取代蛭石，是可行的。

- 二、在實驗二中，我們觀察到咖啡渣的乾或濕，對於暖暖包放熱曲線有其顯著影響，其放熱溫度是濕咖啡渣>乾咖啡渣，我們推測氯化鈉可加速鐵粉反應速率，但須先溶於水產生梨子才能有催化效果，而含水咖啡渣剛好可提供較好的反應環境。
- 三、在實驗三、四中，觀察到不同來源咖啡渣來源(蒸氣式及濾掛式)，我們觀察到放熱曲線優異性：蒸氣式>濾掛式。但隨著咖啡渣含量越高，放熱曲線並不會隨之增加。欲進一步探討其他原因，我們從不同研磨程度(20 秒\*1、20 秒\*5)可以發現，有研磨過會比未研磨放熱效果來得好，而研磨程度 20\*5 效果又比 20\*1 的效果來得佳，可見得研磨可增加其表面積，增快鐵粉的氧化速率。尤其是在 2 克蒸氣式咖啡渣中甚為明顯，溫度差高達 5 度以上。但在溫度持續性上反而較差，推測原因為咖啡渣在經過研磨後會破壞其結構所致。
- 四、從實驗五中，我們成功找到可以跟市售暖暖一較高下的最佳配方為 2g 濾掛式(20\*5)的咖啡渣，持續放熱到第 24 小時後仍有 47.04℃的高溫，且在升溫速度及溫度持續性與市售比較，毫不遜色。
- 五、經過問卷調查高中生對暖暖包喜好程度後，依據統計數據配合本研究實驗結果推薦，若高溫短時間使用者，建議 2 克蒸氣式咖啡渣(20 秒\*5)的比例；若為溫度穩定但長時間使用者，建議 2 克濾掛式咖啡渣(20 秒\*5)的比例。
- 六、本研究結果能推廣到家庭中，原料取容易並能簡易製作出暖暖包，而每包可節省下 6.655 元，可大幅減少咖啡渣廢棄，降低因蛭石開採所造成的資源過量開發，一舉數得。

## 柒、 結論

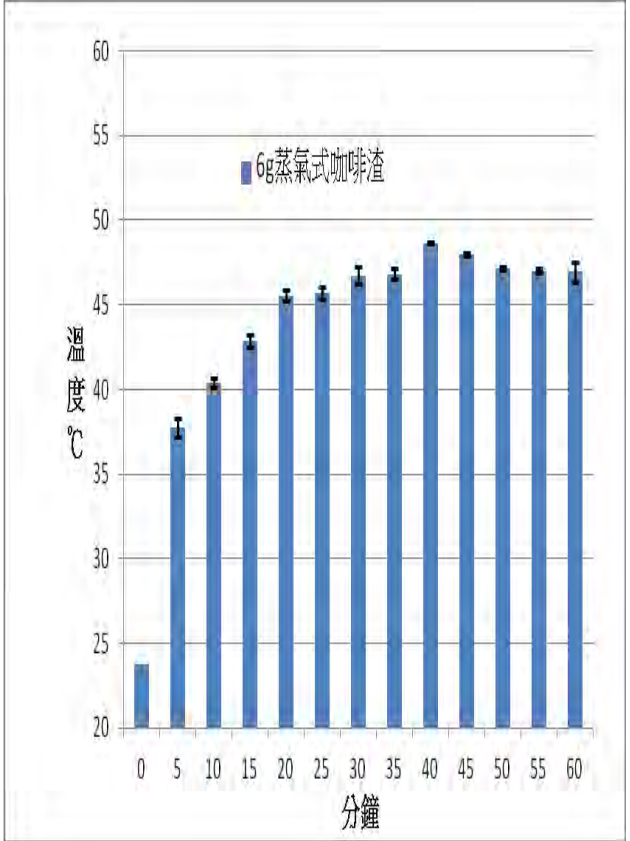
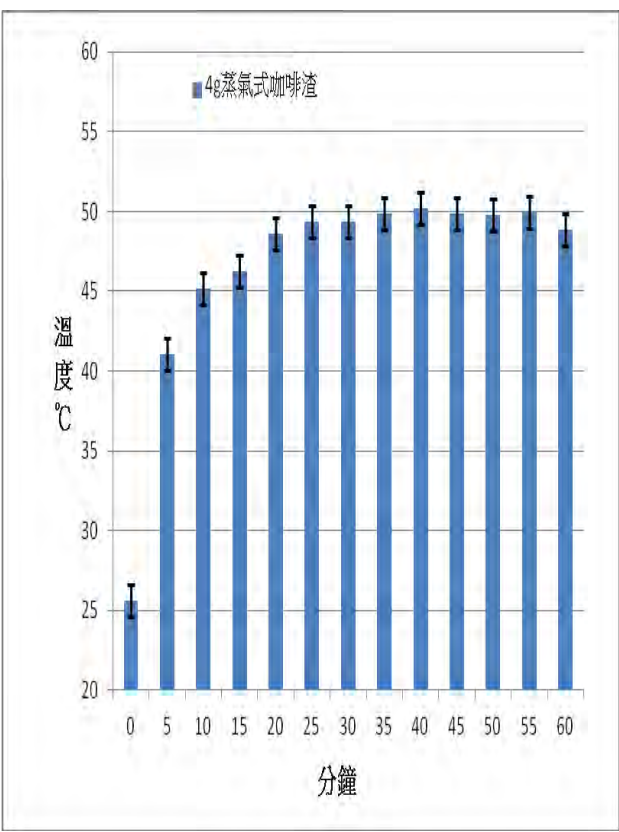
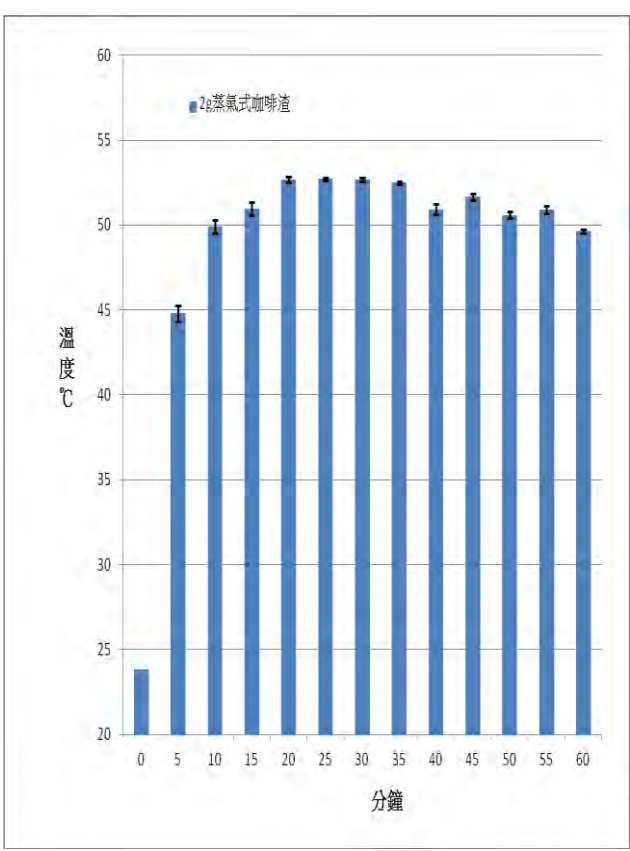
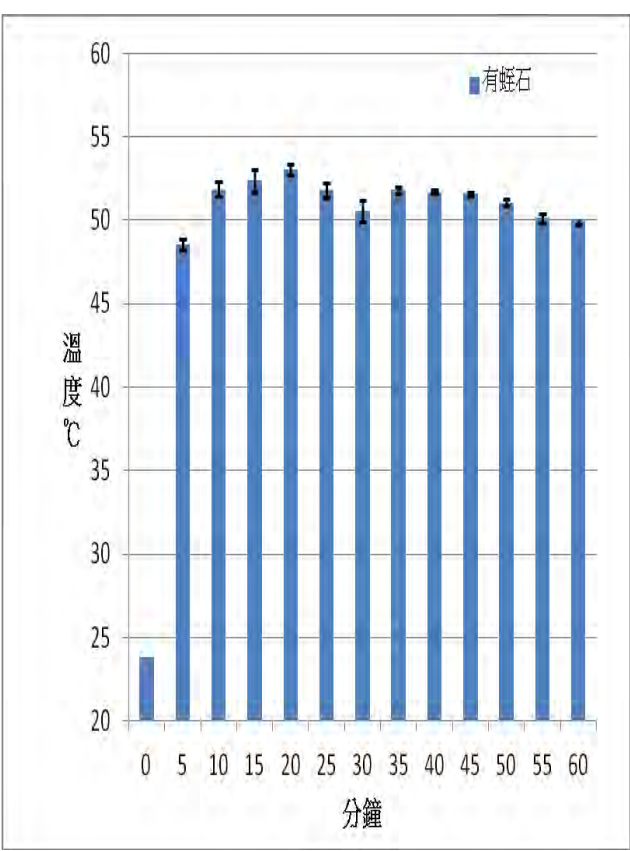
本研究利用咖啡渣替換蛭石，成功製作出不亞於市售的自製暖暖包。藉由不同咖啡渣來源、添加量及研磨程度等變因進行研究，結果顯示咖啡渣能成功替代蛭石，在不同來源、添加量及研磨程度等變因下，我們發現較佳放熱曲線為：蒸氣式>濾掛式；研磨>未研磨，其升溫速率：研磨程度(20\*5) > 研磨程度(20\*1)，但溫度持續性較差；添加量 2g 最適當。最後經實驗發現，我們成功找到可以跟市售暖暖一較高下的最佳配方為 2g 濾掛式(20\*5)的咖啡渣，持續放熱到第 24 小時後仍有 47.04℃的高溫，且在升溫速度及溫度持

續性與市售比較，毫不遜色。本研究欲探討咖啡渣取代蛭石的可行性，結果顯示其有良好效果，本研究所找到最佳配方與市售相比較，更加毫不遜色，而本研究中使用原料方便取得，可在家庭中簡單製作，每包可節省下 6.655 元，若大幅推廣應用，可大大減少咖啡渣廢棄，並降低因蛭石開採造成資源過量開發，有助於資源的永續發展。

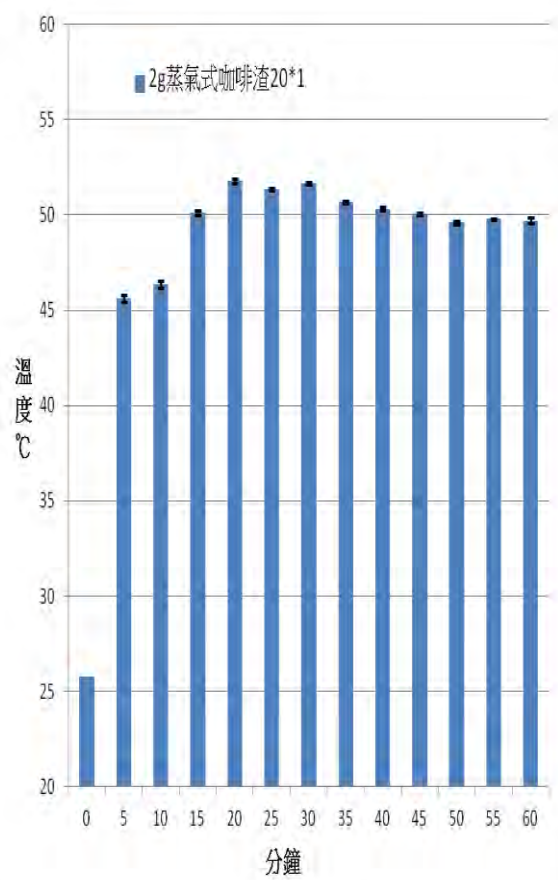
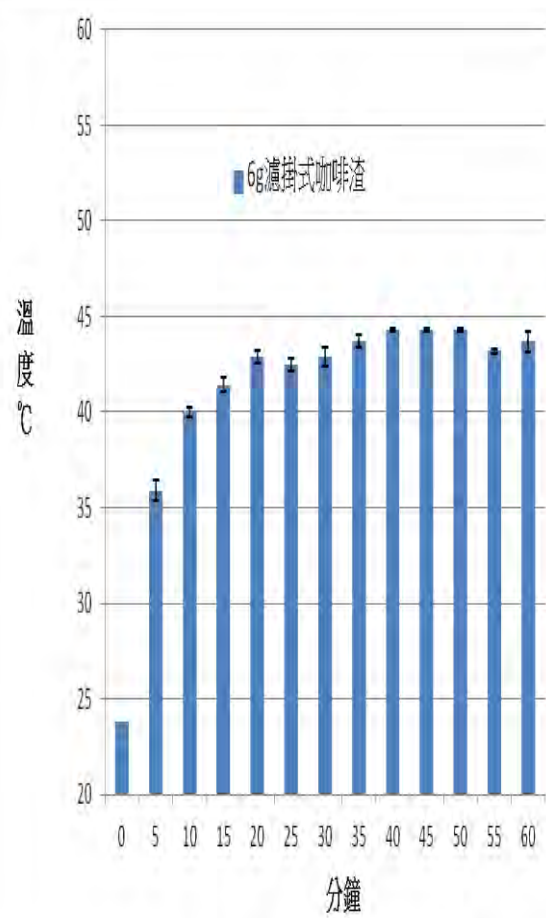
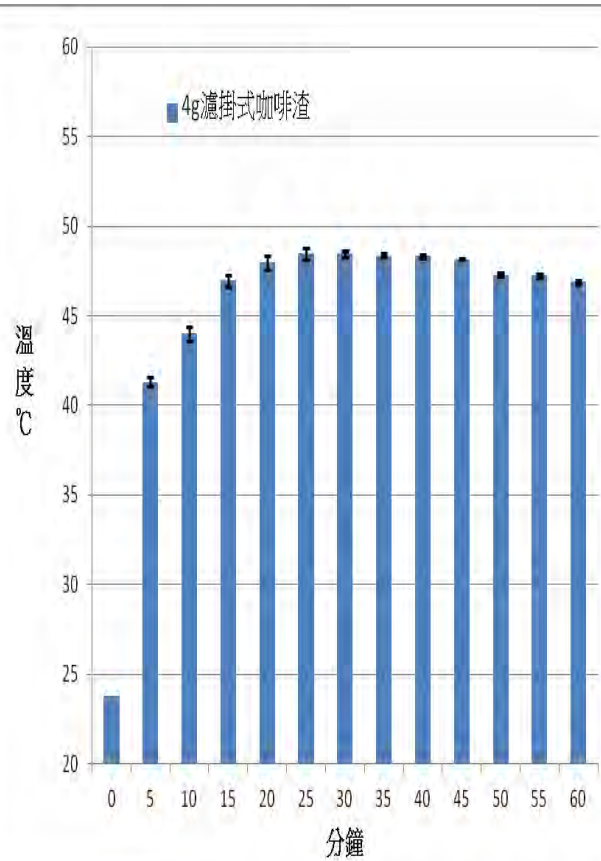
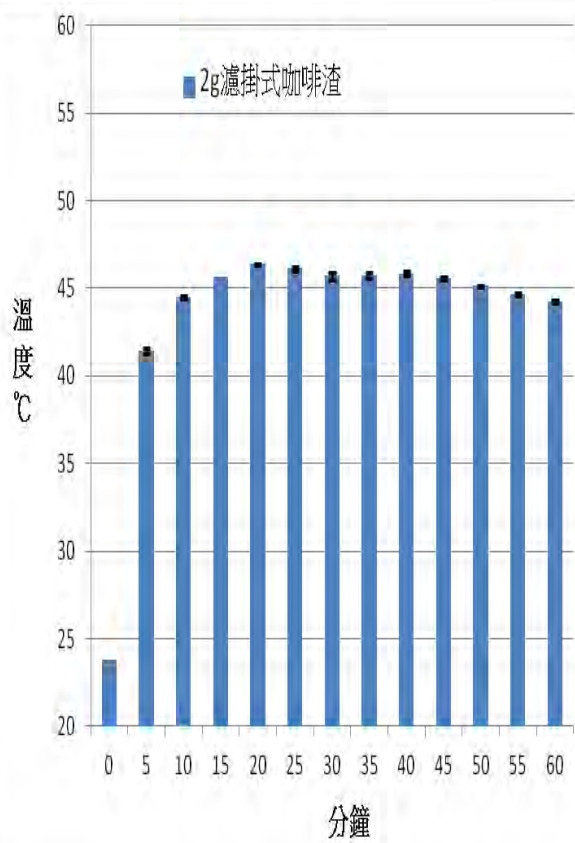
## 捌、參考資料及其他

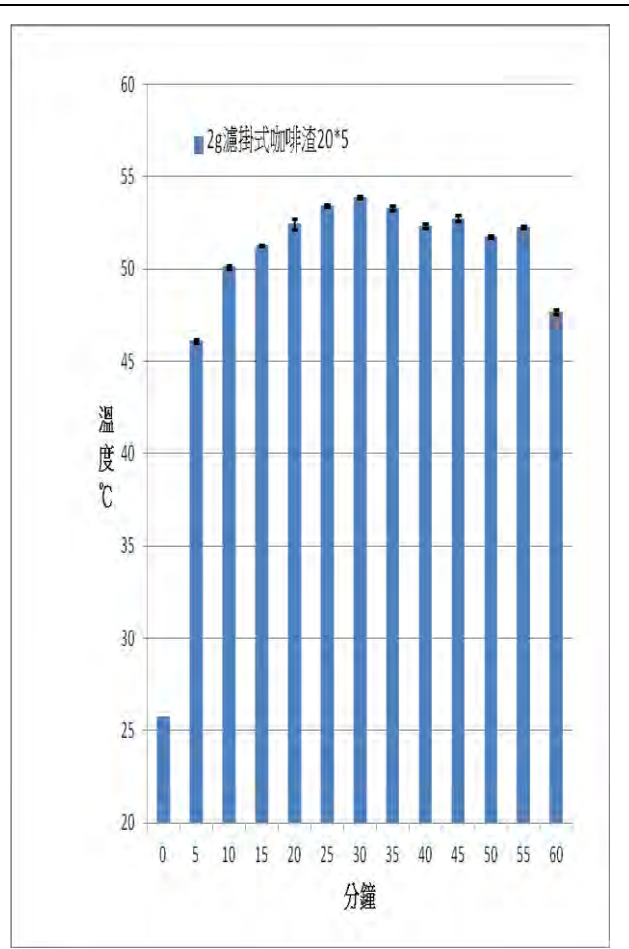
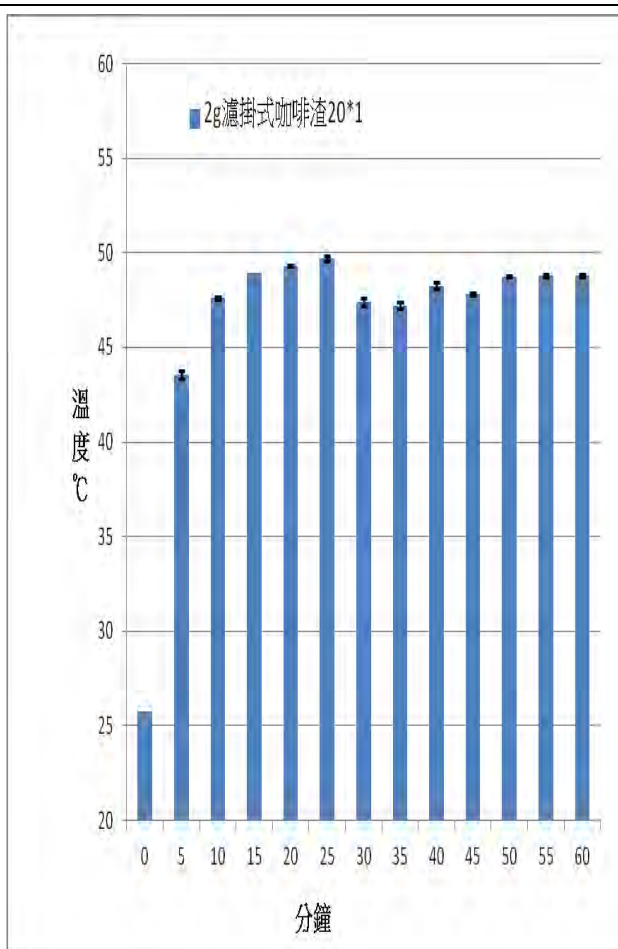
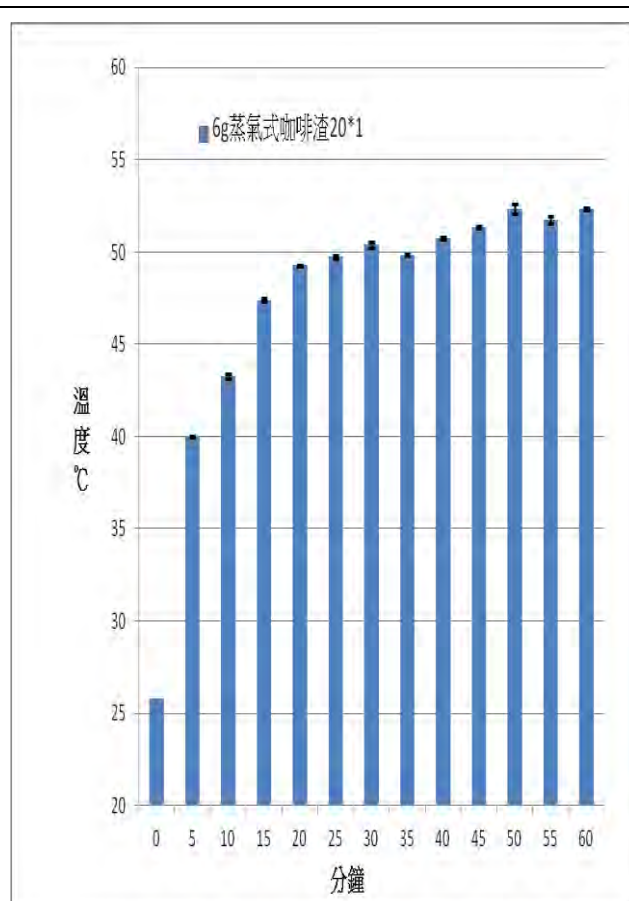
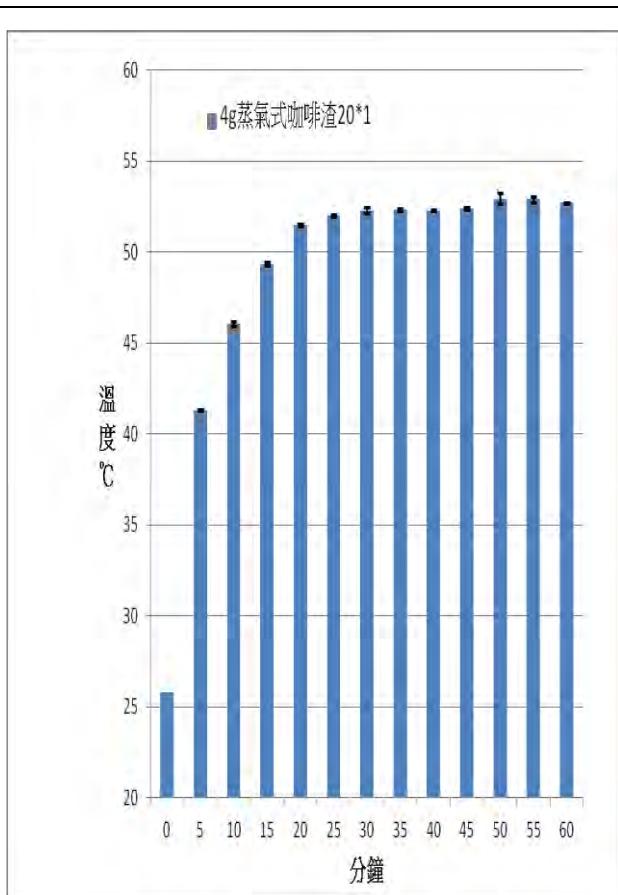
- 一、吳泓勳(2014 年 10 月 19 日)・現煮咖啡台灣每年喝掉 21 億杯・中時電子報・取自 <http://www.chinatimes.com/newspapers/20141019000257-260114>。
- 二、王哲翊(2013)・隨身保暖包效率提升探討(實務專題論文)・臺中：修平科技大學能源與材料科技系。
- 三、高雄市第 48 屆中小學科學展覽會作品說明書・理化科(化學類)・是誰生了『鏽鏽』(2008)。
- 四、陳國維(2017 年 2 月 10 日)・抗寒發熱衣銷售較去年霸王級寒流增 1 成・中央廣播電台。取自 <http://www.rti.org.tw/m/news/detail/?recordId=325224>。
- 五、第 56 屆中小學科學展覽會作品說明書・國中組化學科・熱不離手～「暖暖包」。
- 六、全國高職學生 103 年度專題暨創意製作競賽「專題組」決賽說明書・食品群・垃圾變黃金—咖啡渣利用・

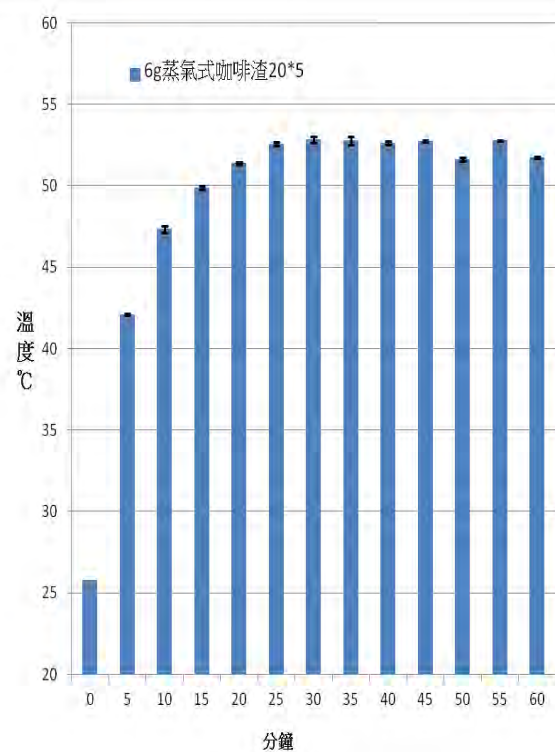
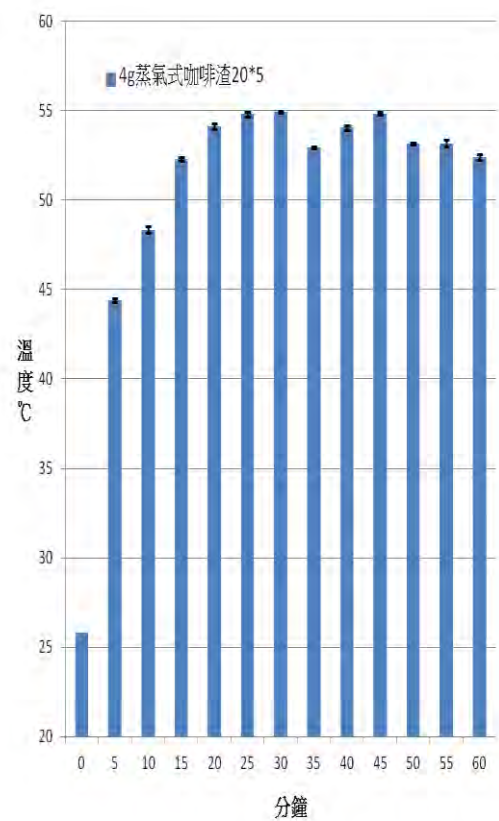
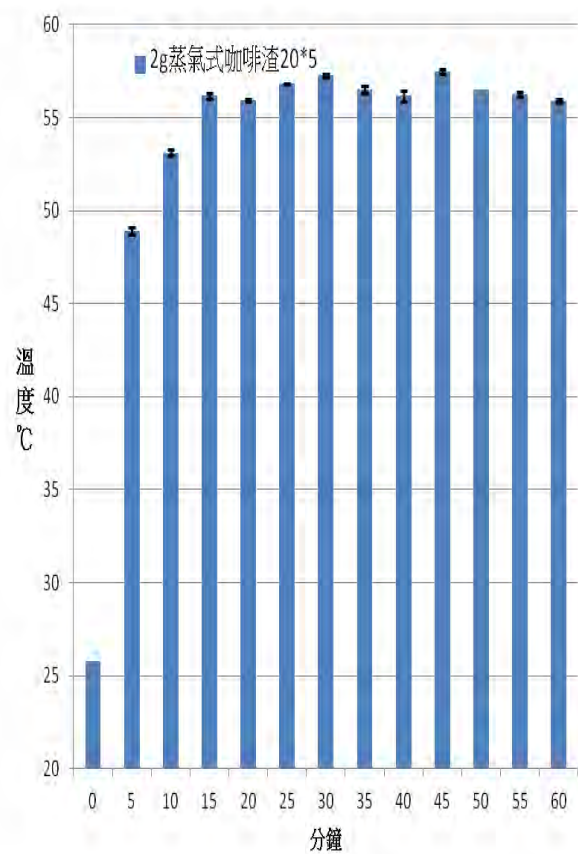
備註一：實驗數據圖含誤差線(所有溫度皆取 10 點球其平均值，並計算出標準差。因版面有限，僅列出部分數據)











## 【評語】 052609

1. 本研究利用咖啡渣取代暖暖包內之蛭石，開發廢棄咖啡渣之資源再利用價值，具環保與資源永續價值。
2. 實驗設計區分濾掛式與蒸氣式的咖啡渣進行討論，建議應嘗試量化濾掛式與蒸氣式咖啡渣的物理特性差異，如顆粒大小的粒徑分布或孔隙率大小或每單位體積有多少克乾咖啡渣，來作為分析比較基準。
3. 成本計算以暖暖包市售價格為比較基準，建議可以比較蛭石的成本與咖啡渣的成本會較合理。

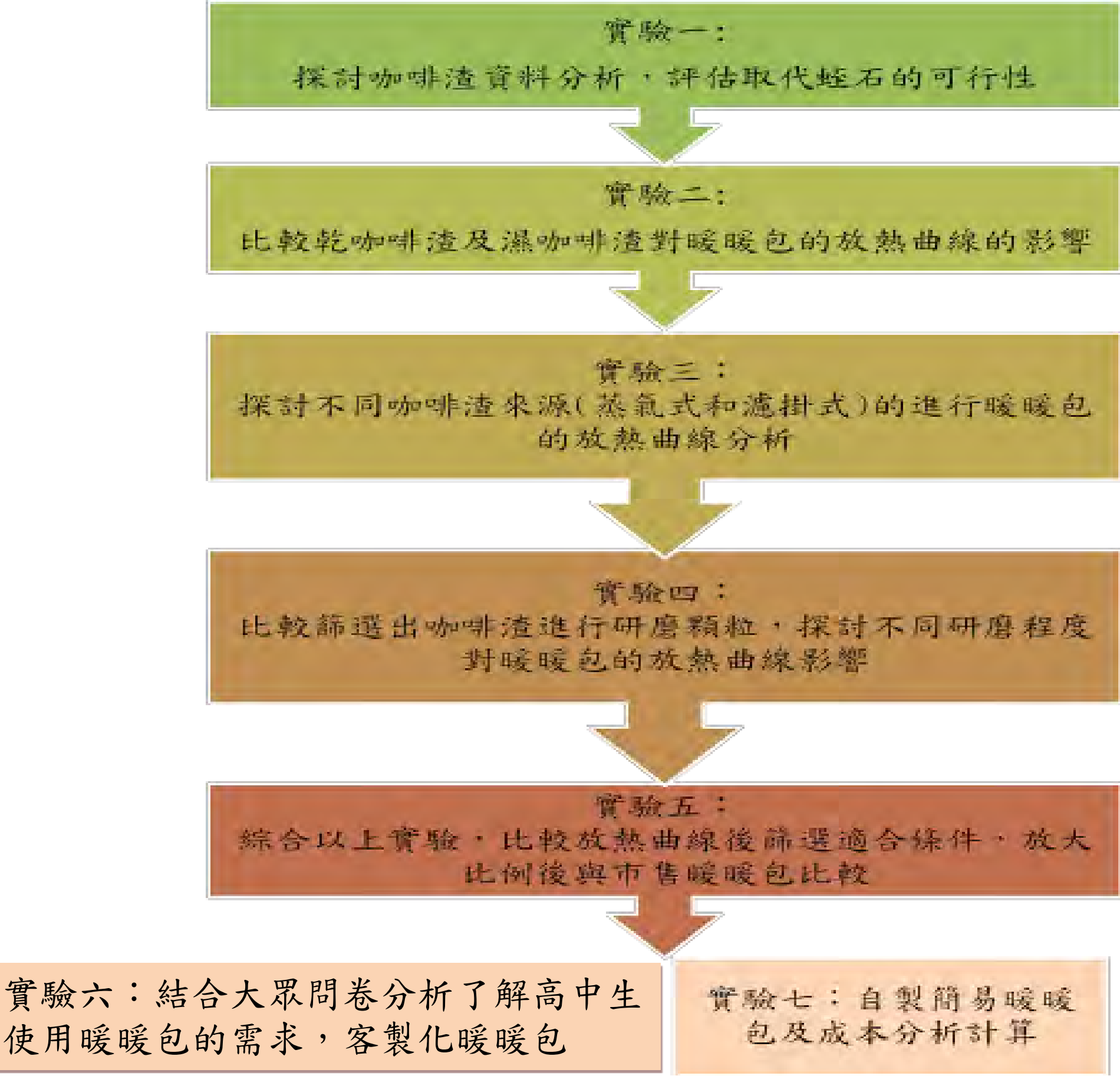


摘要

環境汙染一直是全球關注的問題，而本研究是基於冬天時，常會看到同學拿著暖暖包取暖，如此使用頻繁且不可重複使用的暖暖包是否會造成環境上的負擔呢？透過本研究希望能將資源再利用的咖啡渣，用來取代暖暖包內容物-蛭石，拓展咖啡渣的新用途，減少廢棄量。

藉由不同咖啡渣來源、添加量及研磨程度等變因進行研究，結果顯示咖啡渣能成功替代蛭石，在不同來源、添加量及研磨程度等變因下，我們發現較佳放熱曲線為：蒸氣式>濾掛式；研磨>未研磨，其升溫速率：研磨程度(20\*5) > 研磨程度(20\*1)，但溫度持續性較差；添加量2g最適當。而我們成功找到可以跟市售暖暖包一較高下的最佳配方：2g濾掛式(20秒\*5)的咖啡渣，持續放熱24小時後仍有47.04℃的高溫。可在家庭中簡單製作，每包可節省下6.655元，若大幅推廣應用，可大大減少咖啡渣廢棄，並降低因蛭石開採造成資源過量開發，有助於資源的永續發展。

研究過程或方法



成分	總使用量 / 年	蛭石 / 包	咖啡渣可製作 近21.7億包 暖暖包
暖暖包	3650萬包	推估10.8克	
成分	總使用量 / 年	咖啡渣 / 杯	
咖啡	21.7 億杯	推估10.0克	

暖暖包

拳頭大

最高溫

溫度檢測器取點說明

利用紅外線溫度檢測器所量取的溫度為單一樣本點，接著利用所量測到的最高溫度點，以其為中心，拳頭大小為範圍，另蒐集9個樣本點的溫度後，將其數值取平均數(即為平均溫度)，並利用excel計算出標準差。

實驗一： 探討咖啡渣資料分析，評估取代蛭石的可行性

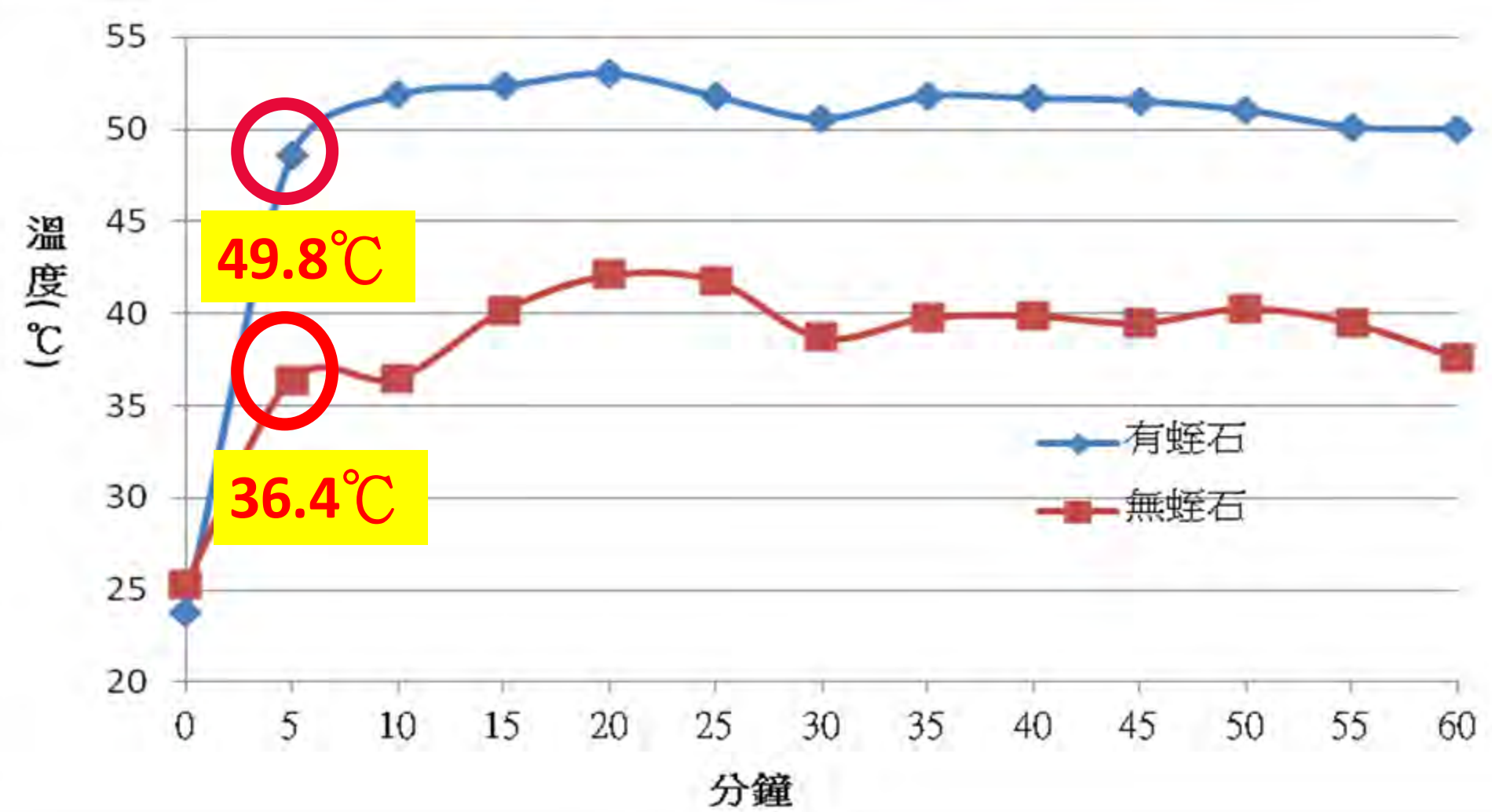


圖1 有無蛭石在60分鐘內放熱曲線圖

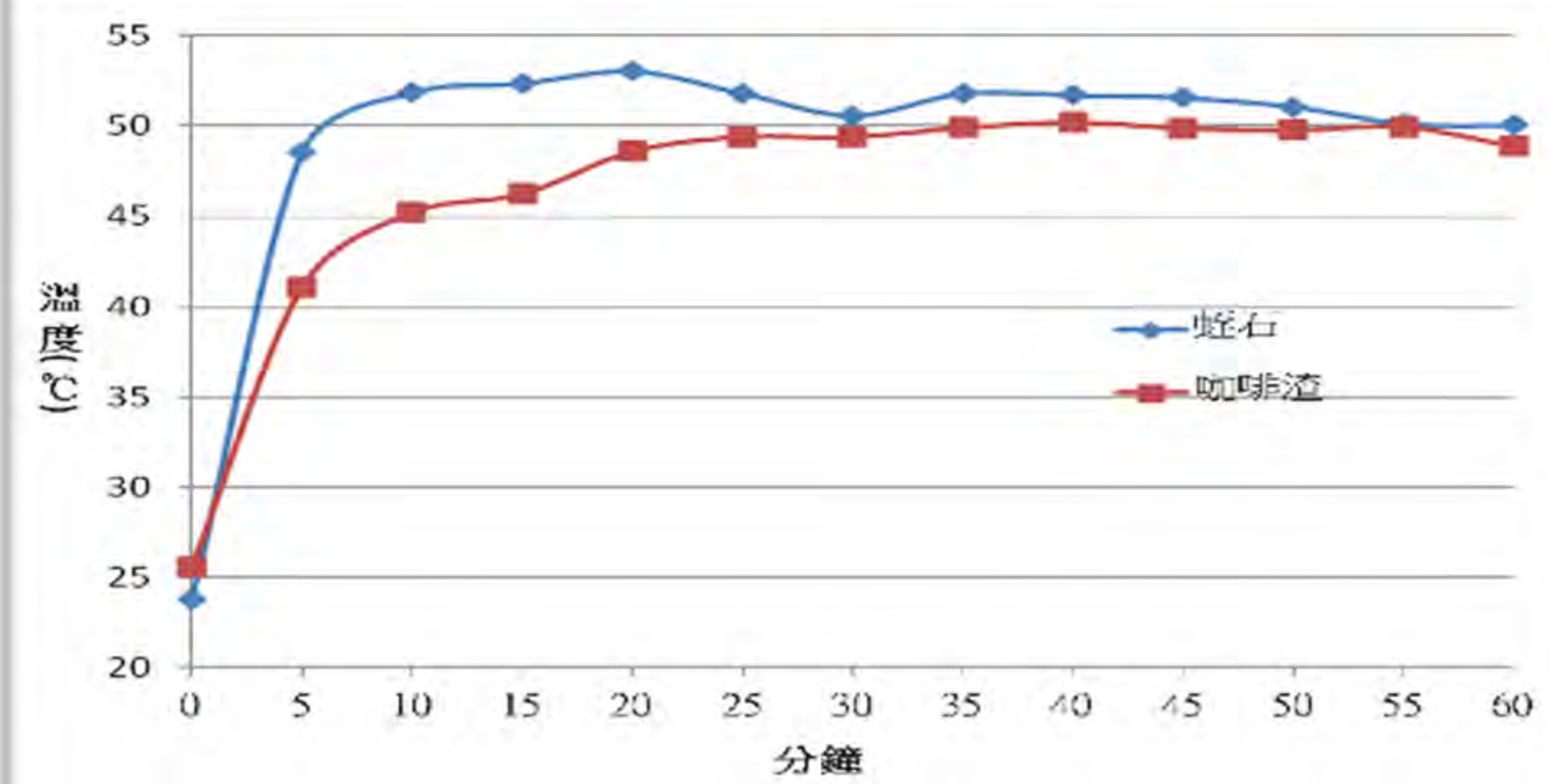


圖2 蛭石與咖啡渣在60分鐘內放熱曲線圖

鐵粉12克、活性碳4克、氯化鈉2克、水2克			
變因	重量	在第幾分鐘 達最高溫(℃)	溫度維持 40℃ 以上的時間
1. 蛭石	4g	20 / 53.0	55分鐘
2. 無蛭石	0g	35 / 42.1	20分鐘

鐵粉12克、活性碳4克、氯化鈉2克、水2克			
變因	重量	在第幾分鐘 達最高溫(℃)	溫度維持 40℃ 以上的時間
1. 蛭石	4g	20 / 53.0	55分鐘
2. 咖啡渣	4g	40 / 50.2	55分鐘

實驗二:比較乾咖啡渣及濕咖啡渣對暖暖包的放熱曲線的影響

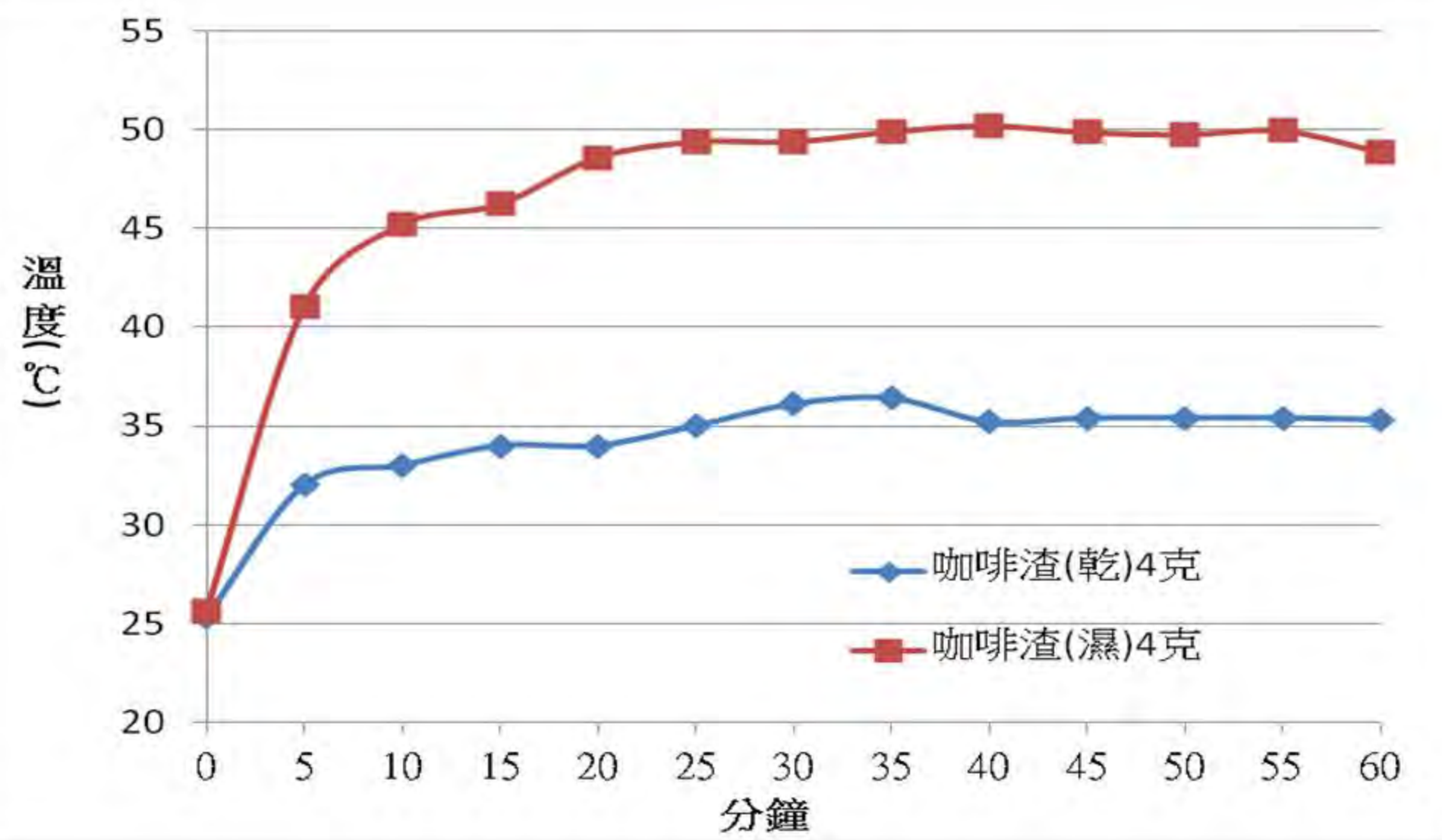


圖3 乾/濕咖啡渣在60分鐘內放熱曲線圖

鐵粉：12公克、活性碳：4公克、氯化鈉：2公克、水：2公克					
變因	重量	濕度		在第幾分鐘 達最高溫(℃)	溫度維持 40℃ 以上的時間
		前	後		
乾咖啡渣	4g	0%	0%	35 / 36.4	無
濕咖啡渣	4g	74.0%	63.9%	40 / 50.2	55分鐘

實驗三：探討不同咖啡渣來源(蒸氣式和濾掛式)的進行暖暖包的放熱曲線分析

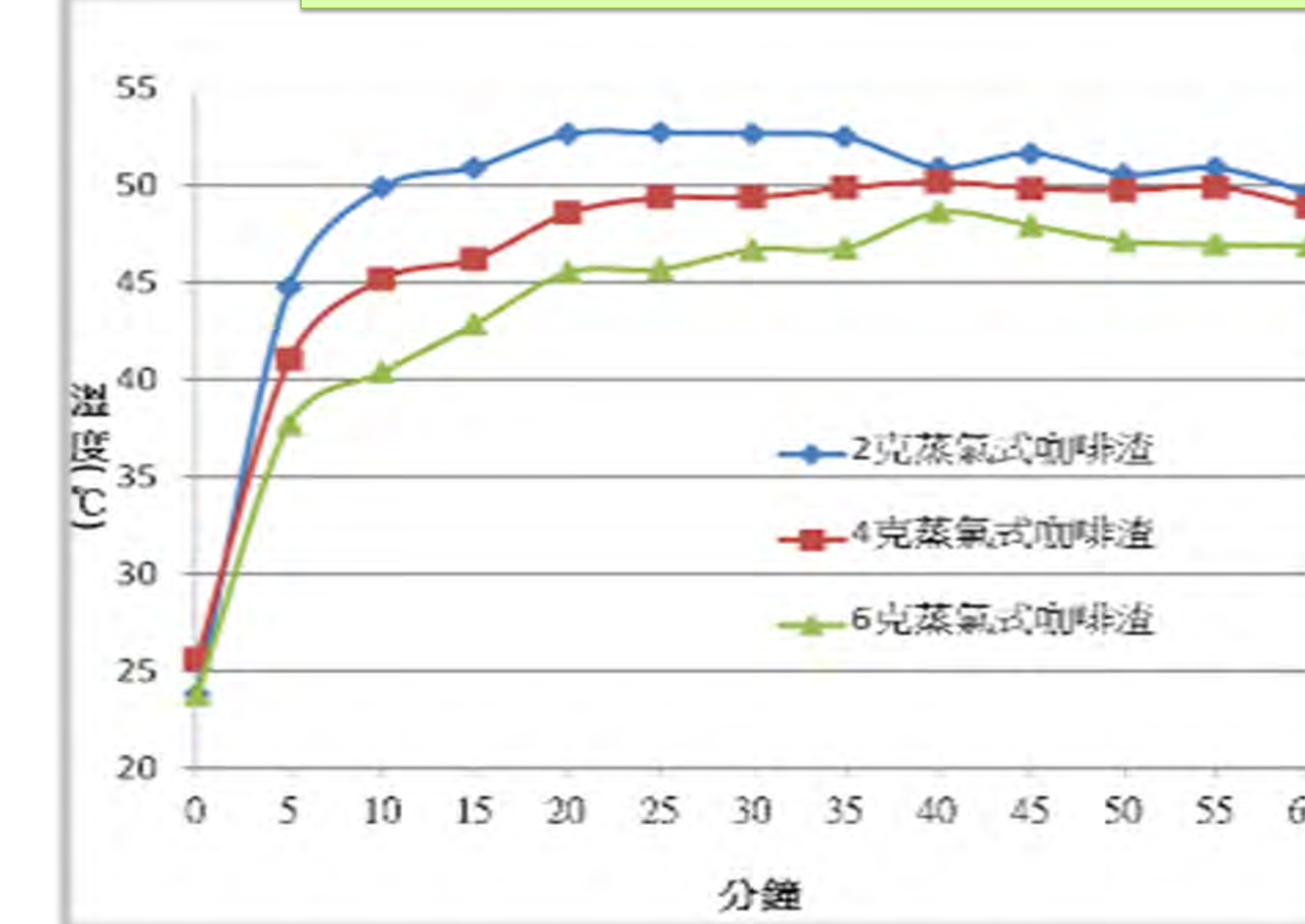


圖4 2、4、6克咖啡渣在60分鐘內放熱曲線圖

鐵粉：12公克、活性碳：4公克、氯化鈉：2公克、水：2公克					
變因	重量	濕度		在第幾分鐘 達最高溫(℃)	溫度維持 40℃以上的 時間
濾掛式	2克	前	後	20 / 46.38	55分鐘
	4克	74.0%	20.4%	30 / 48.47	55分鐘
	6克	74.0%	25.3%	45 / 44.28	50分鐘
蒸氣式	2克	63.8%	25.7%	25 / 52.72	55分鐘
	4克	63.8%	63.9%	40 / 50.20	55分鐘
	6克	63.8%	71.1%	40 / 48.66	50分鐘



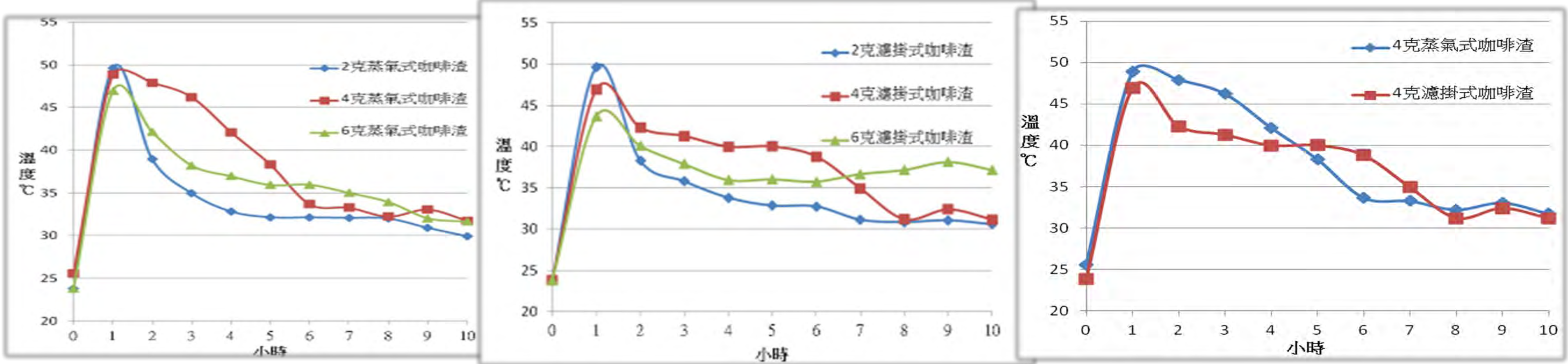


圖5 2種咖啡渣來源在不同來源下1小時內放熱曲線圖

實驗四：比較篩選出咖啡渣進行研磨顆粒，探討不同研磨程度對暖暖包的放熱曲線影響

鐵粉：12公克、氯化鈉：2公克、活性碳：4公克、水：2公克					
變因(研磨程度)	數據	重量	濕度		溫度維持 40℃ 以上的時間
			前	後	
濾掛式咖啡渣20*1		2克	84.4%	10.4%	25/49.70
蒸氣式咖啡渣20*1		2克	74.2%	10.9%	20/51.78
蒸氣式咖啡渣20*1		4克	74.2%	16.0%	50/52.94
蒸氣式咖啡渣20*1		6克	74.2%	11.7%	60/52.35
濾掛式咖啡渣20*5		2克	88.6%	6.4%	30/53.86
蒸氣式咖啡渣20*5		2克	84.1%	7.9%	30/57.26
蒸氣式咖啡渣20*5		4克	84.1%	6.4%	30/54.93
蒸氣式咖啡渣20*5		6克	84.1%	6.1%	30/52.84

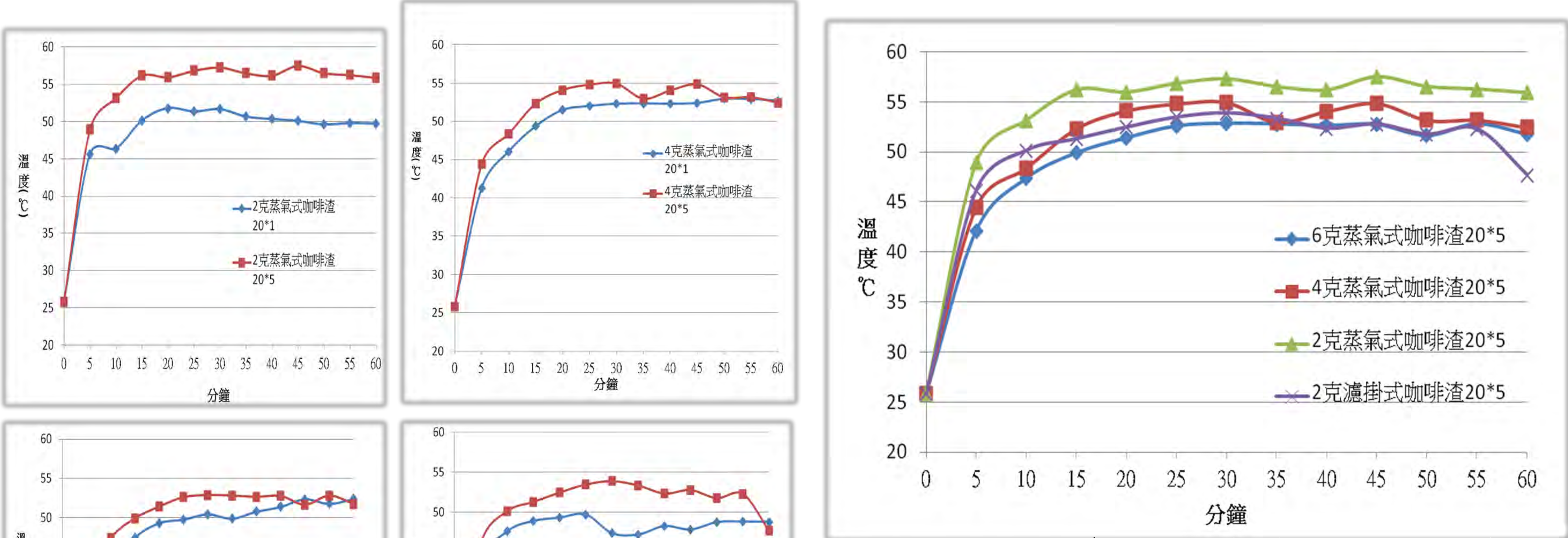


圖6 2種咖啡渣來源在不同研磨程度下60分鐘內放熱曲線圖

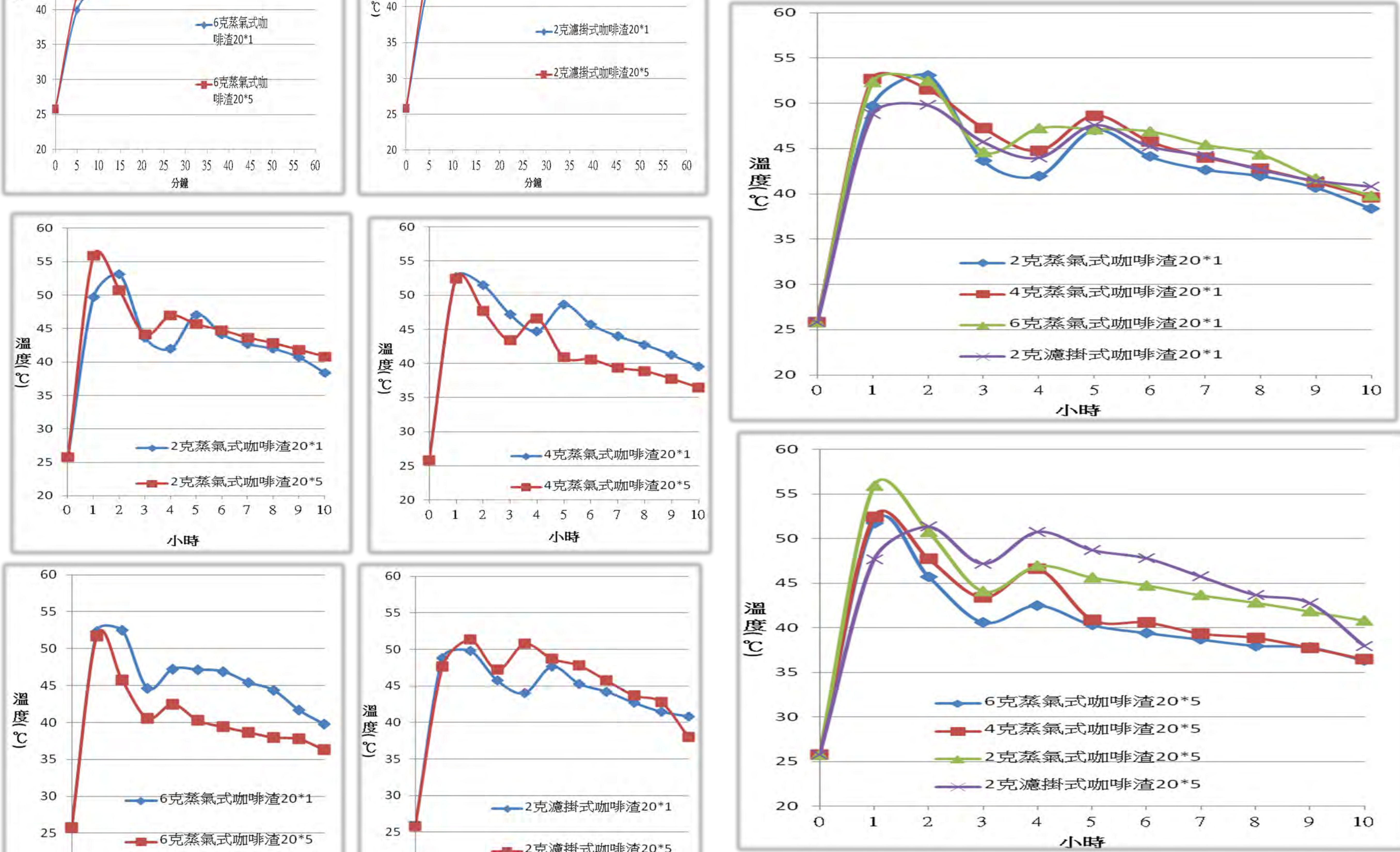
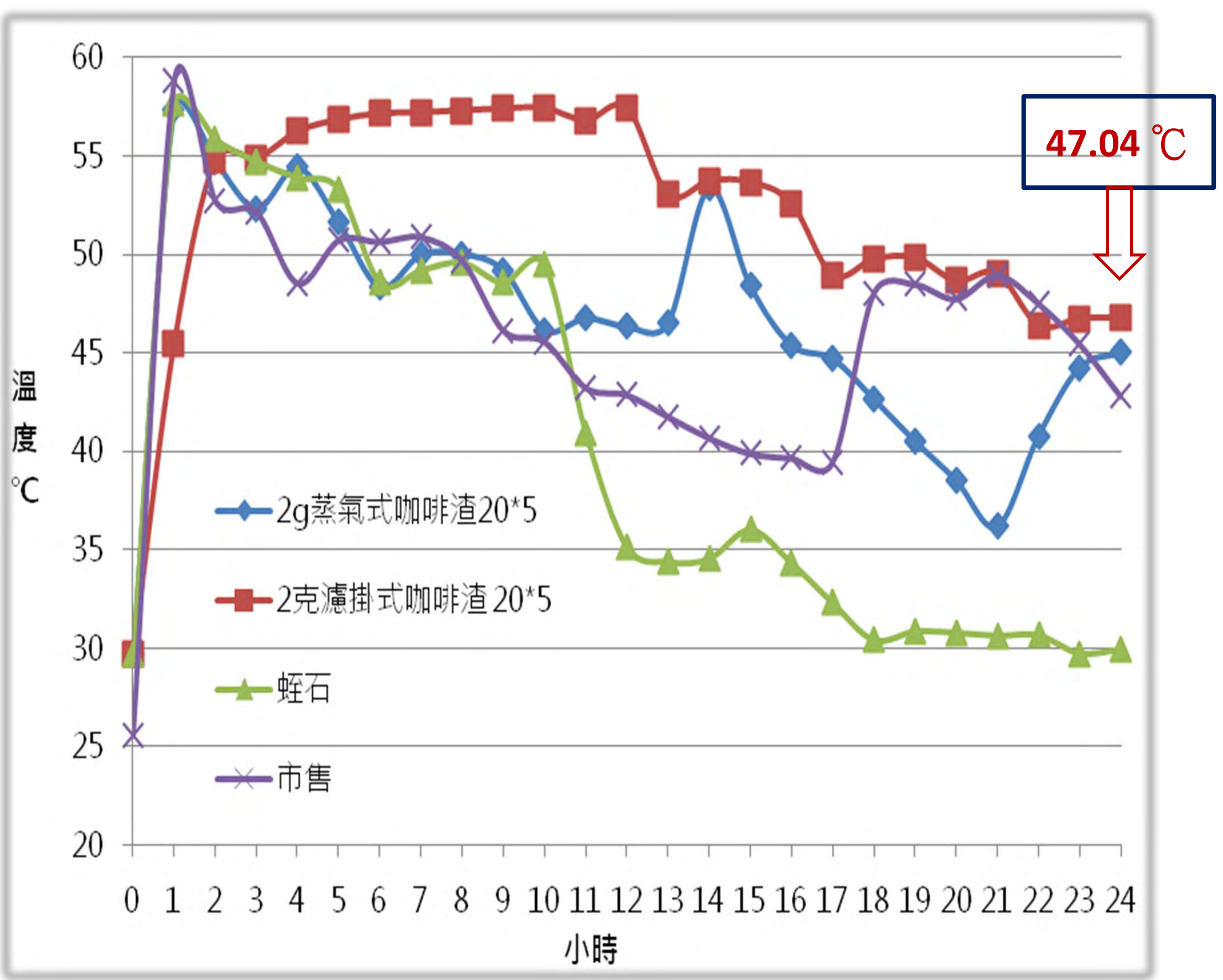


圖7 2種咖啡渣來源在不同研磨程度下10小時內放熱曲線圖



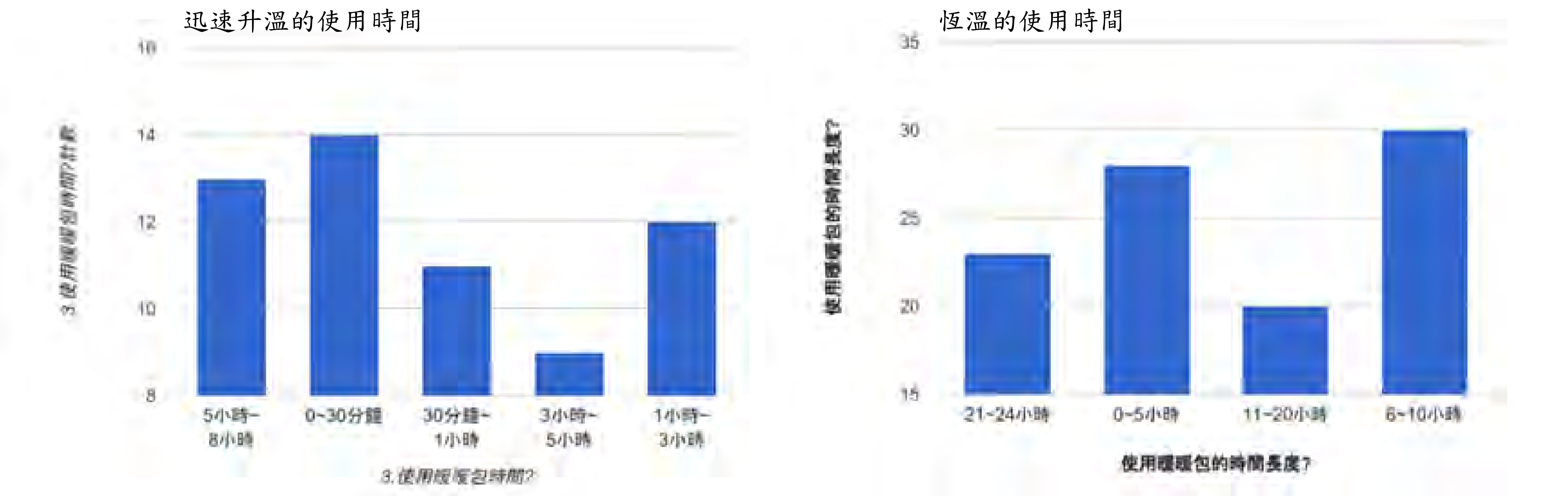
實驗五：綜合以上幾項實驗,挑選幾項比例並放大其比例和市售比較

數據 變因	最高溫/分鐘	溫度維持 40℃以上的 時間	第24小時的溫 度(℃)
市售	58.84 / 60	10小時	40.81
2g蒸氣式	49.86 / 50	9小時	38.35
4g蒸氣式	44.28 / 55	8小時45分鐘	39.57
6g蒸氣式	51.85 / 55	8小時55分鐘	39.77
2g蒸氣式20*5	57.38 / 60	22小時	45.02
4g蒸氣式20*5	57.87 / 55	22小時	40.26
4g蒸氣式20*1	58.56 / 55	21小時	41.55
2g濾掛式20*5	57.44 / 60	24小時	47.04
蛭石	57.76 / 55	11小時	29.94



圖八 放大比例自製暖暖包與市售暖暖包24小時內放熱曲線圖

實驗六：結合大眾問卷分析了解高中生使用暖暖包的需求製作客製化暖暖包



圖九 高中生對暖暖包使用習慣的問卷分析(有效問卷120份)

因此，對於高中生客製化暖暖包比例，我們建議如下

喜好暖暖包種類	建議配方	咖啡渣處理
迅速升溫的使用時間	活性炭:鐵粉:氯化鈉:水:咖啡渣	2g濾掛式咖啡渣(20*5)
恆溫的使用時間	11.8克:35.4克:5.9克:5.9克:5.9克	

實驗七：自製簡易暖暖包及成本分析計算

自製暖暖包					市售暖暖包
成本明細	項目	單價(元)	重量(g)	小計	15元
	活性炭	0.130	11.8	1.534	
	鐵粉	0.190	35.4	6.726	
	氯化鈉	0.015	5.9	0.088	
	水	0	5.9	0	
	濾掛式咖啡渣	0	5.9	0	
總價(包)	8.348元				6.655元
每包可省下金額					

結論

- 本研究利用咖啡渣來取代蛭石，經放熱曲線可知，兩者曲線幾乎一致，因此咖啡渣能成功替代蛭石，製作不亞於市售的暖暖包；經實驗比較乾咖啡渣及溼咖啡渣的放熱曲線，濕咖啡渣優於乾咖啡渣。
- 不同來源的變因：蒸氣式>濾掛式、研磨程度的變因：研磨>未研磨，研磨升溫速率：研磨程度(20\*5) >研磨程度(20\*1)。
- 我們找到跟市售暖暖一較高下的最佳配方為2g濾掛式(20\*5)的咖啡渣，持續放熱到第24小時後仍有47.04℃的高溫，且在升溫速度及溫度持續性與市售比較，毫不遜色。
- 本研究中所使用的咖啡渣原料方便取得，成功用來取代暖暖包裡的蛭石，可減少蛭石的開採，達到對環境的保護，並可在家中簡單製作，而每包可節省下6.655元，也可提供咖啡渣的全新用途，且若大幅推廣利用，能達到廢棄物再利用。