

屏東縣第 64 屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：化學科

組 別：國中組

作品名稱：發熱劑之研究

關 鍵 詞：放熱反應、催化劑、反應熱

編號：B3016

目錄

摘要-----	p.3
壹、前言-----	p.3
貳、研究設備及器材-----	p.5
參、研究過程與方法-----	p.6
肆、研究結果-----	p.13
伍、討論-----	p.22
陸、結論-----	p.24
柒、參考資料和其他-----	p.25

摘要

發熱劑是由化學放熱反應將水加熱至沸點，然後利用水蒸氣將熱量傳到上方的食材器皿水中。我們研究各種不同的化學放熱反應，研究不同的藥品比例。希望找到最佳的、最經濟的藥品比例。最後實驗結果是：

- 一、酸鹼稀釋的放熱反應，放熱快、溫度也高，但無法讓水達到沸騰。
- 二、金屬加酸鹼也是放熱反應，但放熱慢，也無法讓水達到沸騰。甚至效果更差。
- 三、主要熱量來源是氧化鈣+水→氫氧化鈣。但是單純的氧化鈣反應，還是無法讓水達到沸騰狀態。
- 四、氧化鈣加水反應，須加多種**催化劑**才能快速放熱，使水達到沸騰狀態。其多種催化劑的作用及比例如下：

成分	氧化鈣	碳酸鈉	矽藻土	鐵粉	鋁粉	活性炭	氯化鈉
作用	放熱	吸附水	吸附劑	氧化還原	氧化還原	吸附劑	吸附水
比例(克)	120	2	4	6	5	3	2

壹、前言

一、研究動機：

冬天是吃火鍋的最佳時間。最近流行一種「懶人火鍋」，就是不用瓦斯加熱，就能煮熟食材的「**免煮火鍋**」。因為非常特殊，所以我們決定拿來當科展的主題研究。

在網路上尋找資料時，發現之可以煮熟火鍋食材的原因，是因為化學反應的放熱現象，然後加熱冷水使之沸騰，再用蒸氣煮熟食材。所以我們想研究，到底是那些化學反應可以產生更多的熱量，如何的比例可以完美的煮熟食材而不浪費化學藥品。

所以我們參考了網路資料和自己所學，想要完美的完成這次研究，美美的吃上一頓火鍋。

二、研究目的：

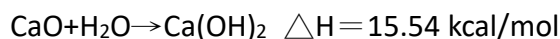
- (一)、各種不同的放熱化學反應，對水溫的影響。
- (二)、不同比例的藥品組合，對水溫的影響。
- (三)、找出最佳反應熱的藥品及其比例。

三、文獻回顧：

(一)自熱食品是指無需明火即可加熱的食品，一般適用於惡劣氣候無法使用明火或者禁止使用明火的場合。

(二)常見的化學放熱反應組合有酸鹼稀釋、酸鹼中和、生石灰加水、鐵粉加氧氣、鋁粉加鹼性水溶液等等。

(三)**氧化鈣**：俗稱生石灰。是發熱包主要的熱量來源。它和水接觸之後可以產生熟石灰，學名氫氧化鈣。在這個過程中會釋放大量熱量，是發熱包主要的熱量來源。



碳酸鈉：俗稱小蘇打，用來吸收滲入包裝內的微量水分，防止氧化鈣逐漸失效，同時在化學反應中起到輔助作用。

鋁粉、鐵粉：發熱包中也常見鐵粉和鋁粉，它們可以通過和氧氣反應釋放少量熱量。也可以和活性碳、水分、鹽分形成「原電池」效應，通過氧化還原反應釋放熱量。

矽藻土：矽藻土是一種生物化學沉積岩；密度低、多孔隙、有粗糙感，有極強的吸水性。化學組成為 80~90% 的二氧化矽、2~4% 的氧化鋁、5~2% 的鐵氧化物。

活性炭：是疏水性的吸附劑，具有對非極性物質有選擇性吸附的特性，還具有由碳表面的官能團產生的催化作用和碳本身作為反應物質的性質。

氯化鈉：氯化鈉溶於水時，完全電離為鈉離子與氯離子。他們會使純水靠氫鍵鍵合形成的正常結構遭到破壞。 Na^+ 與水分子的結合力大約是水分子間氫鍵的 4 倍。

氫氧化鈉：俗稱是苛性鈉、燒鹼，化學式 NaOH 。具有強鹼性和有很強的吸溼性。易溶於水，溶解時放熱，水溶液呈鹼性，有滑膩感；腐蝕性極強，對纖維、皮膚、玻璃、陶瓷等有腐蝕作用。

硫酸：硫酸是一種具有高腐蝕性的無機強酸，化學式為 H_2SO_4 ，被稱為化學工業之母。一般為透明至微黃色，在任何濃度下都能與水混溶並且放大量的熱。

(四)放熱反應是釋出熱量的一類化學反應，與吸熱反應相對。在放熱反應中，破壞化學鍵所用的能量是少於組成鍵所釋放的能量。









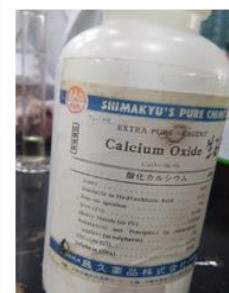
















放熱反應的通式為：反應物→產物+能量(熱能)

(五)反應熱的計算：

1. 卡(cal)：使一公克的水升高 1°C 到所需的熱量稱為 1 卡。1 卡=4.18 焦耳。
2. 反應熱=生成物之熱含量 - 反應物之熱含量。
3. 反應熱 ΔH =水(質量×比熱×溫差)
4. 在 1atm 下，水的汽化熱=水蒸汽的凝結熱=540 cal/g。

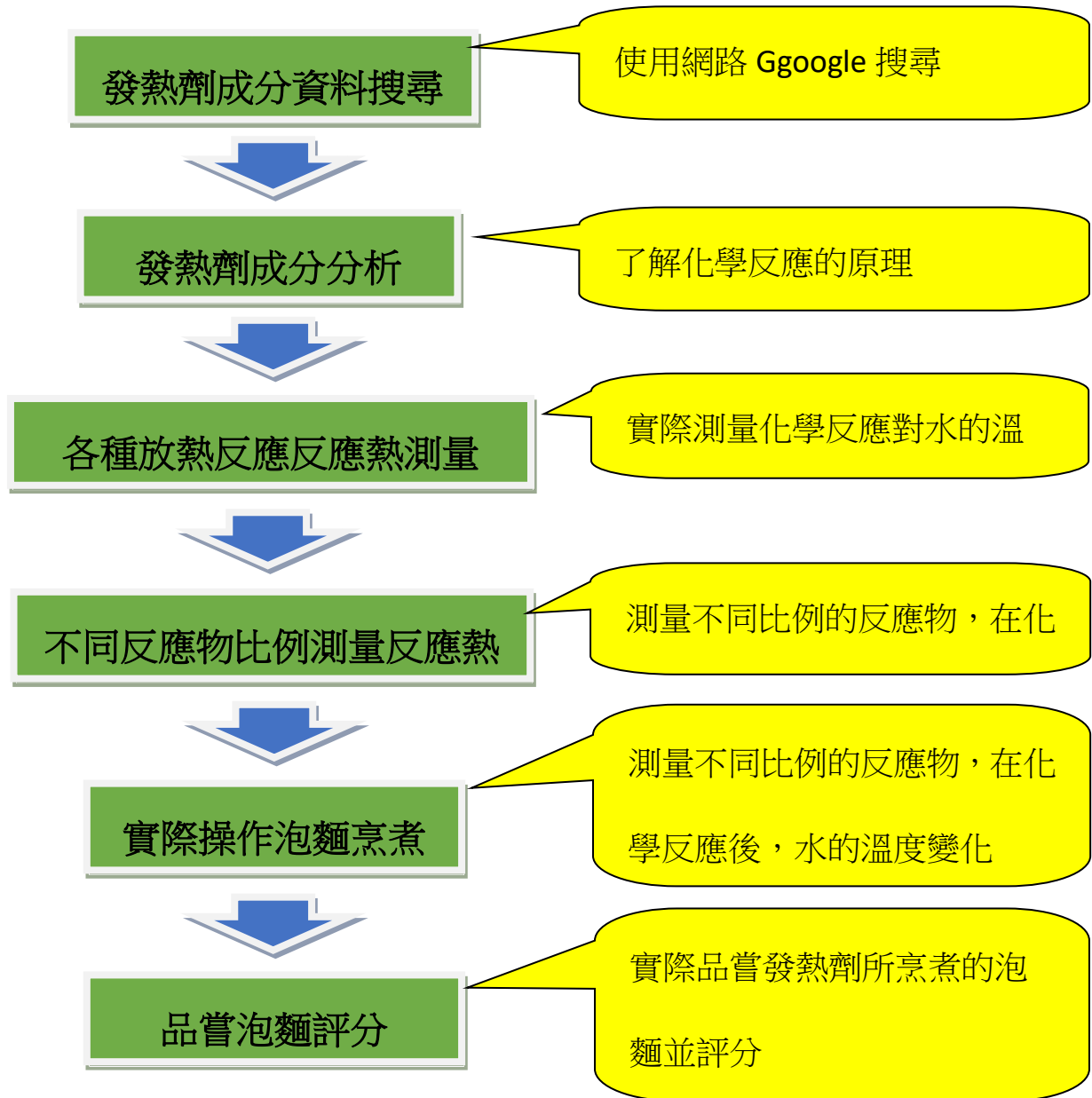
(六)、發熱劑：在某種溫度條件下，發生化學反應時能放出熱量的混合料。在鑄造生產中，多用於發熱冒口，以提高其補縮作用，如矽鐵粉、木炭粉、鋁粉等的混合物。同時還常含有其他一些附加物，如黏結劑和充填劑等。發熱劑的燃燒迅速及燃燒時釋放出的熱量，對其適用性具有決定性影響。此外，它的導熱性及熔化溫度等也影響其適用性。

貳、研究設備及器材

<p>硫酸↵</p> 	<p>氫氧化鈉↵</p> 	<p>碳酸鈉↵</p> 	<p>矽藻土↵</p> 	<p>鐵粉↵</p> 
<p>鋁粉↵</p> 	<p>活性炭粉↵</p> 	<p>氯化鈉↵</p> 	<p>氧化鈣(生石灰)↵</p> 	<p>硝酸↵</p> 
<p>粉↵</p> 	<p>鎂粉↵</p> 	<p>碳酸氫鈉↵</p> 	<p>氧化鈣↵</p> 	<p>三角鐵↵</p> 
<p>碼錶↵</p> 	<p>針筒↵</p> 	<p>橡膠手套↵</p> 	<p>刮勺↵</p> 	<p>量筒↵</p> 
<p>溫度計↵</p> 	<p>電子秤↵</p> 	<p>燒杯↵</p> 	<p>保麗龍箱↵</p> 	<p>棉布包↵</p> 

參、研究過程與方法

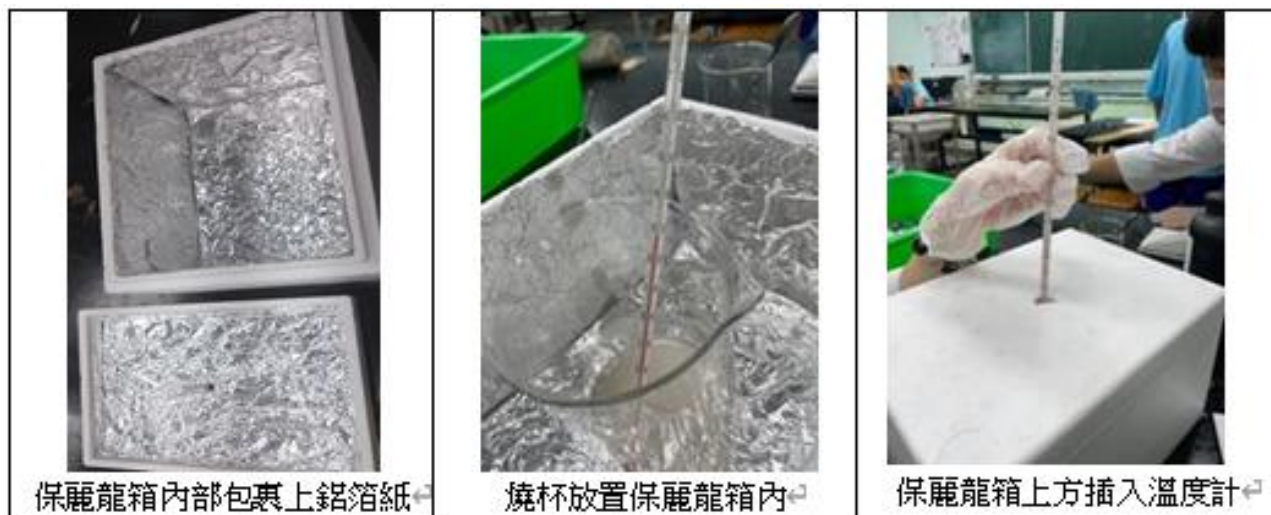
一、實驗架構：



二、實驗步驟：

(一)製作隔熱箱：如下圖(1)所示。

1. 取一嘗 40cm、寬 30cm、深 30cm 的保麗龍箱。
2. 在保麗龍箱內部包裹上鋁箔紙。
3. 保麗龍箱的蓋子上方開一小孔，方便插入溫度計。



圖(1) 隔熱箱製作

(二)、各種不同酸鹼的稀釋放熱反應，對水溫的影響。

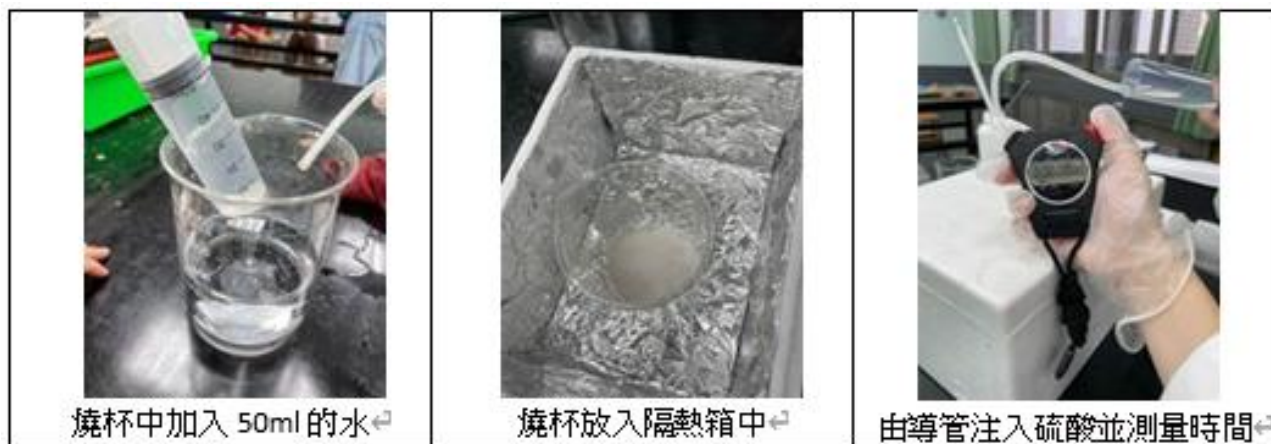
1. 測量硫酸加水稀釋的水溫變化：

(1)取 50 毫升的水加入不同量的硫酸，測量不同溫度的變化。結果如下表(2)所示。

	硫酸(ml)	水量(ml)	原溫度(°C)
第一次	10	50	26.1
第二次	14	50	27.0
第三次	18	50	25.6
第四次	22	50	26.2

表(2)為測量稀釋硫酸放熱反應的劑量

(2)實際實驗操作和測量情況，如下圖(3)所示。



圖(3) 測量硫酸的放熱反應

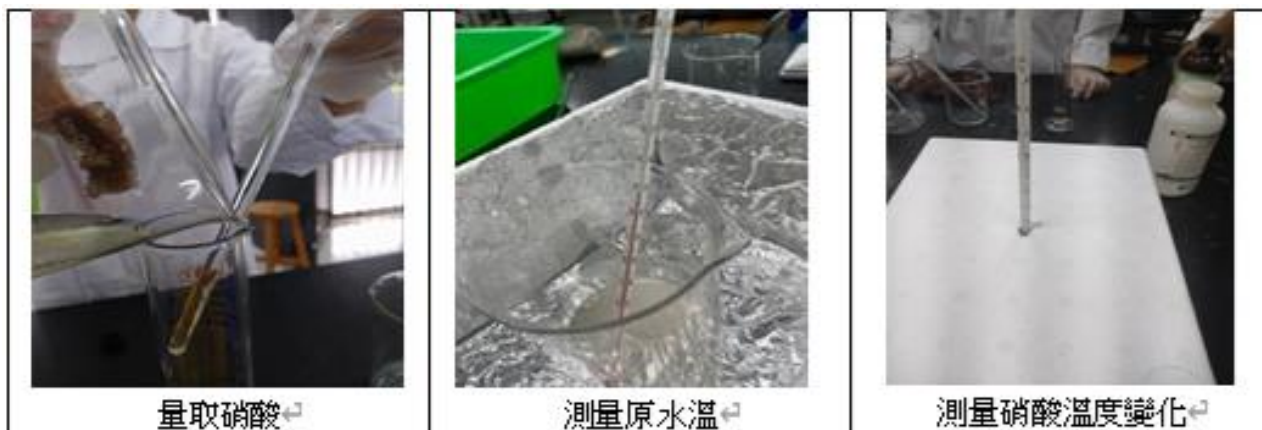
2. 測量硝酸加水的水溫變化。

(1)取 50 毫升的水加入不同量的硝酸，測量不同溫度的變化。如下表(4)所示

	硝酸(ml)	水量(ml)	原溫度(°C)
第一次	10	50	25.3
第二次	14	50	27.0
第三次	18	50	24.4
第四次	22	50	26.2

表(4)為測量稀釋硫酸放熱反應的劑量

(2)實際實驗操作和測量情況，如下圖(5)所示。



圖(5) 測量硝酸的放熱反應的操作

3. 測量氫氧化鈉加水稀釋的水溫變化。

(1)取 50 毫升的水加入不同重量的氫氧化鈉，測量不同溫度的變化。如下表(6)所示。

	氫氧化鈉(g)	水量(ml)	原溫度(°C)	末溫度(°C)	溫差(°C)	時間(秒)
第一次	10	50	26.1	29.3	4.2	34.5
第二次	14	50	26.2	37.4	10.2	36.5
第三次	18	50	25.4	48.6	24.2	35.6
第四次	22	50	26.3	55.3	29.0	40.3

表(6)為測量稀釋氫氧化鈉放熱反應的劑量

(2)實際操作氫氧化鈉的稀釋和測量情況，如下圖(7)所示。



圖(7) 測量氫氧化鈉的稀釋放熱反應

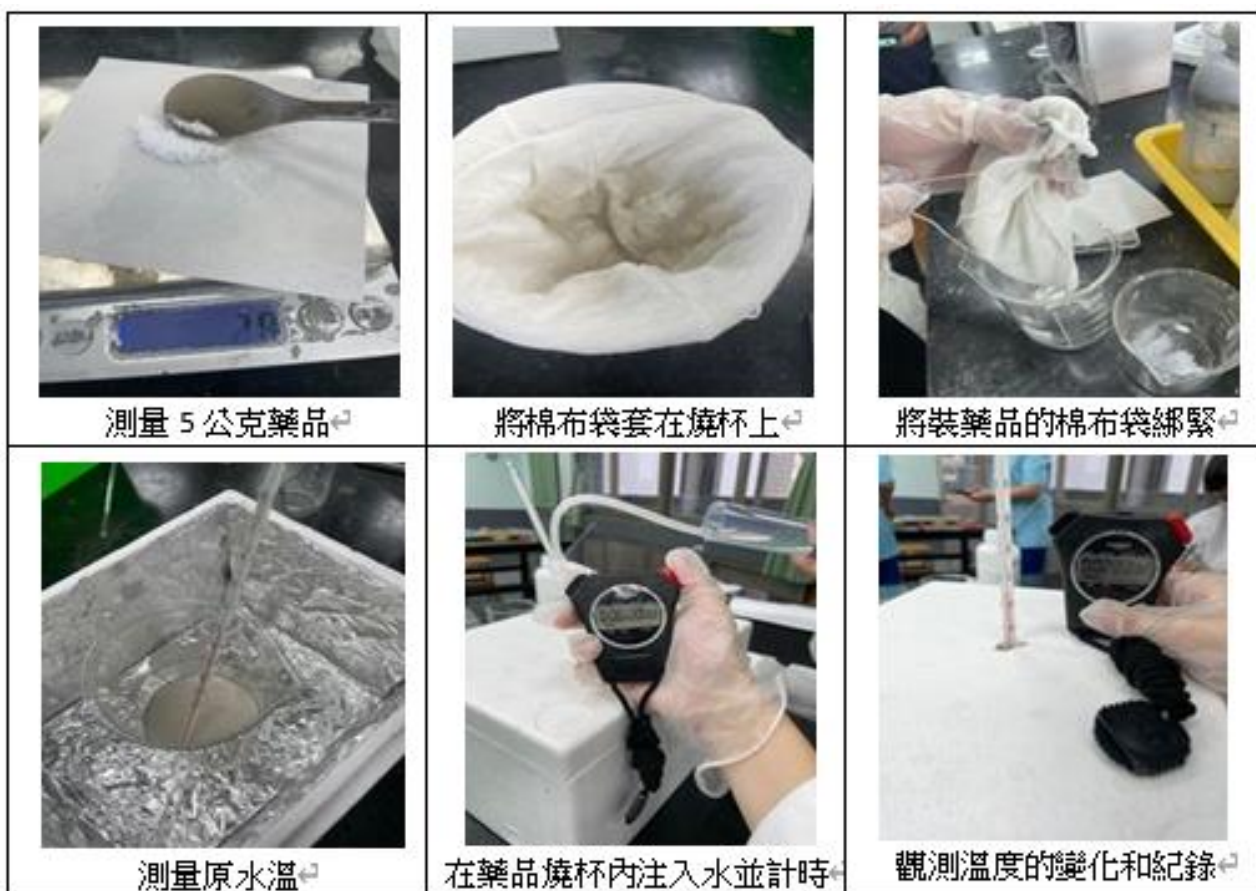
(二)、參考市售的發熱劑，成分各有差異，而且成分比例也沒有標示。所以我們組合出以下除了 5 種單純只加水稀釋以外，我們另外做出 5 種組合藥劑其比例先暫訂 1:1 均相同，依照實驗結果，我們再找出一組表現最好的，再深入調整比例來研究。下表分別是加水測量其溫度變化。如下表(8)所示為不同比例的藥品組合，對水溫的影響。

1. 共 10 組不同藥劑和藥劑組合，準備測量水溫的變化。如下表(8)所示。

化學藥品	水量 (ml)	藥品(克)	原溫度 (°C)
鐵粉	50	5 克	27.5
鋁粉	50	5 克	27.2
鎂粉	50	5 克	28.1
氧化鈣	50	5 克	27.1
碳酸鈉	50	5 克	26.5
碳酸鈉、活性碳粉、鋁粉、氧化鈣	50	各 5 克	24.3
氧化鈣、鋁粒、碳酸氫鈉	50	各 5 克	26.0
碳酸鈉、鐵粉、鋁粉、焦炭粉、生石灰	50	各 5 克	25.1
鋁粉、碳酸鈣、氫氧化鈣、碳酸氫鈉、氫氧化鈉	50	各 5 克	25.4
碳酸鈉、矽藻土、活性碳粉、鋁粉、鐵粉、氯化鈉、氧化鈣	50	各 5 克	25.5

表(8)為 10 組藥劑組合

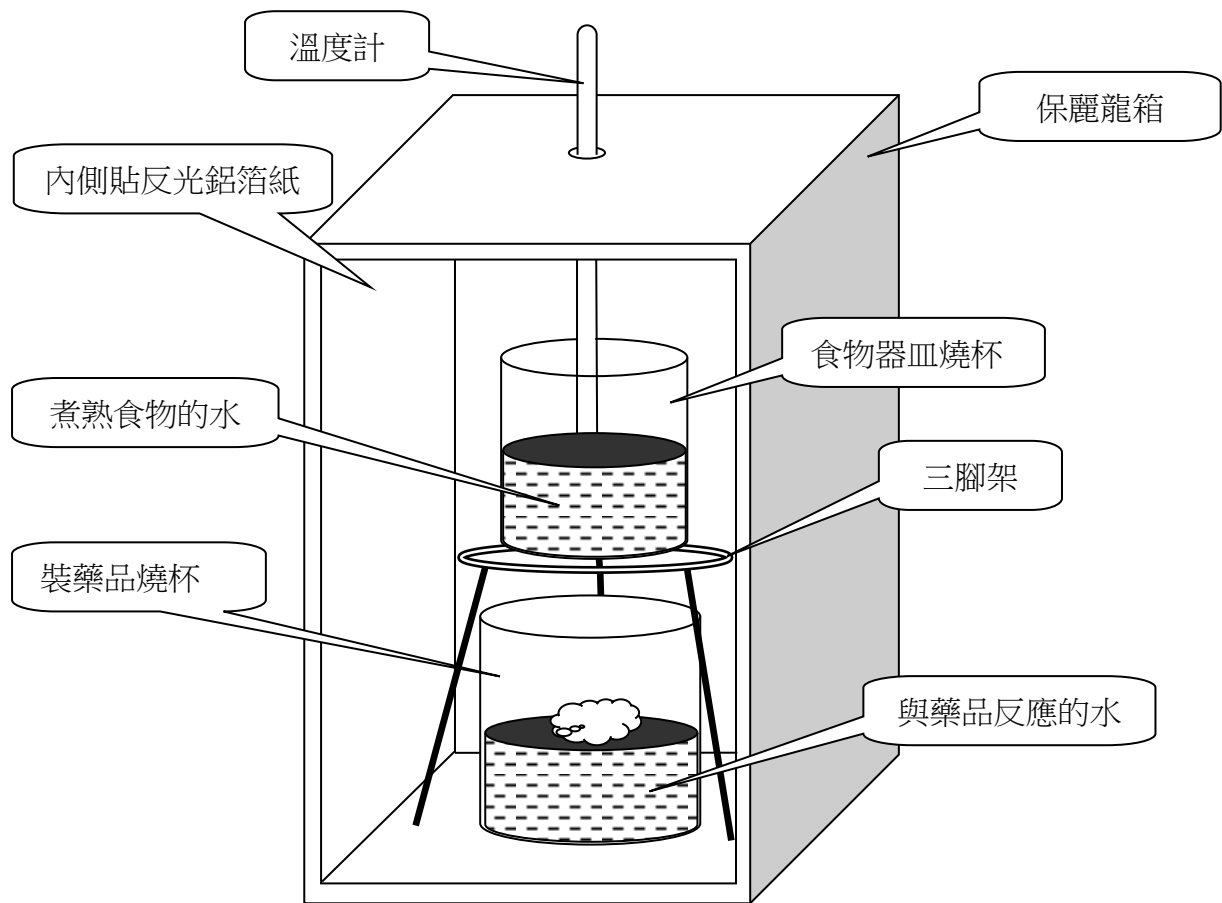
2. 藥劑的組裝和測量，如下圖(9)所示。



圖(9) 測試各種不同藥品放熱反應的溫度變化

(三)、依照實驗結果，我們採用藥品組合為：碳酸鈉、矽藻土、活性碳粉、鋁粉、鐵粉、氯化鈉、氧化鈣。這一組當做我們的研究主題：

1. 測量放熱反應儀器示意圖。因為免煮火鍋是要煮熟另一鍋水的食材，所以我們的實驗設計如下圖(10)所示。



圖(10) 測量放熱反應儀器示意圖



圖(10) 測量放熱反應儀器實際圖

2. 組合不同催化劑藥品的比例，測量水溫變化。如下表(11)所示。

次數	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
碳酸鈉 (公克)	2	4	6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
矽藻土 (公克)	2	2	2	4	6	2	2	2	2	2	2	2	2
鐵粉 (公克)	2	2	2	2	2	4	6	2	2	2	2	2	2
鋁粉 (公克)	2	2	2	2	2	2	2	4	6	2	2	2	2
活性炭粉 (公克)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	6	2	2
氯化鈉 (公克)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	6
氧化鈣 (公克)	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
原水量 (毫升)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
末水量 (毫升)	49.0	48.8	48.7	48.6	48.7	48.5	48.1	48.7	48.7	48.9	48.7	48.9	48.9
失去水量 (毫升)	1.0	1.2	1.3	1.4	1.5	1.5	1.9	1.3	1.3	1.1	1.3	1.1	1.1
食物器皿 水量(毫升)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
器皿 原水溫(°C)	27.3	27.1	27.5	27.3	27.4	27.0	27.4	27.5	27.6	27.4	27.8	27.4	26.9
器皿 末水溫(°C)	67.4	69.1	70.5	72.9	73.6	73.4	79.3	69.9	70.1	68.0	70.1	68.2	67.8
器皿 水溫差(°C)	40.1	42.0	43.0	45.6	46.2	46.4	51.9	42.4	43.5	40.6	42.3	40.8	40.9
時間(分)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

表(11) 不同比例的催化劑對水溫變化的測量

4. 氧化鈣的劑量與食物器皿水溫的關係：如下表(12)所示。

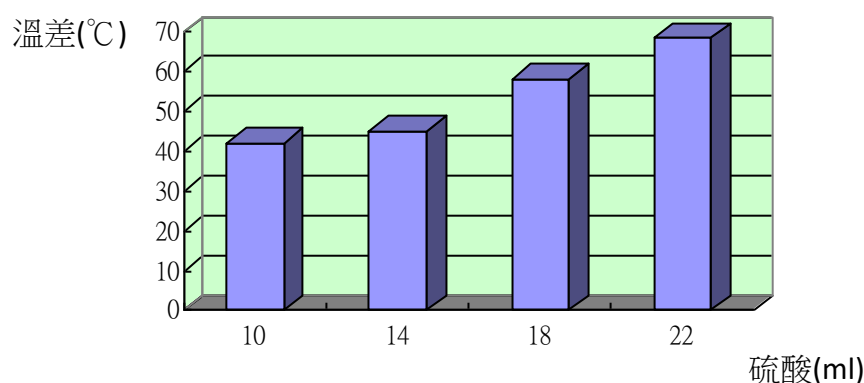
次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
碳酸鈉 (公克)	2	2	2	2	2
矽藻土 (公克)	4	4	4	4	4
鐵粉 (公克)	6	6	6	6	6
鋁粉 (公克)	5	5	5	5	5
活性炭粉 (公克)	3	3	3	3	3
氯化鈉 (公克)	2	2	2	2	2
氧化鈣 (公克)	100	120	140	160	180
原水量 (毫升)	50	50	50	50	50
末水量 (毫升)	48.6	48.0	47.8	47.6	47.5
失去水量 (毫升)	1.4	2.0	2.2	2.4	2.5
食物器皿水 量(毫升)	50	50	50	50	50
器皿 原水溫(°C)	28.4	27.4	28.4	27.6	27.8
器皿 末水溫(°C)	73.8	87.6	93.7	97.3	99.8
器皿 水溫差(°C)	45.4	60.2	65.3	69.7	72.0
時間(分)	3	3	3	3	3

表(12) 氧化鈣的劑量與食物器皿水溫的測量

肆、研究結果

一、由硫酸加水的放熱反應實驗發現，我們的操作變因是硫酸的劑量，而應變變因是水的溫差。發現它們彼此之間呈**正相關**。如下圖表(12)所示。

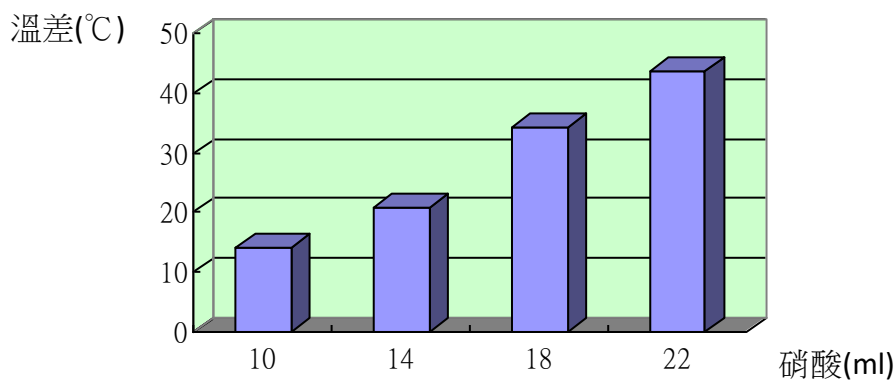
	硫酸(ml)	水量(ml)	原溫度(°C)	末溫度(°C)	溫差(°C)	時間(秒)
第一次	10	50	26.1	67.1	42.0	14.3
第二次	14	50	27.0	72.1	45.1	15.6
第三次	18	50	25.6	83.6	58.0	17.5
第四次	22	50	26.2	94.5	68.3	18.9



圖表(12) 硫酸與溫差的關係圖表

二、由硝酸加水的放熱反應實驗發現，我們的操作變因是硝酸的劑量，而應變變因是水的溫差。發現它們彼此之間呈**正相關**。如下圖表(13)所示。

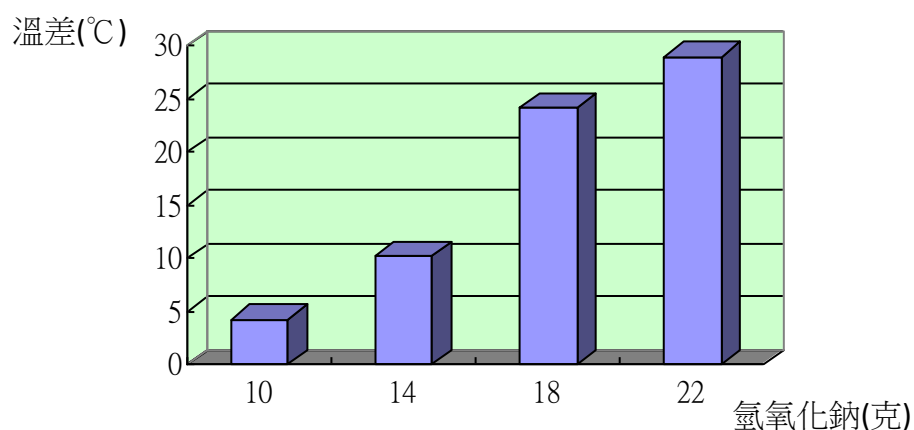
	硝酸(ml)	水量(ml)	原溫度(°C)	末溫度(°C)	溫差(°C)	時間(秒)
第一次	10	50	25.3	39.5	14.2	13.5
第二次	14	50	27.0	47.7	20.7	14.5
第三次	18	50	24.4	58.6	34.2	16.2
第四次	22	50	26.2	69.7	43.5	16.1



圖表(13) 硝酸與溫差的關係圖表

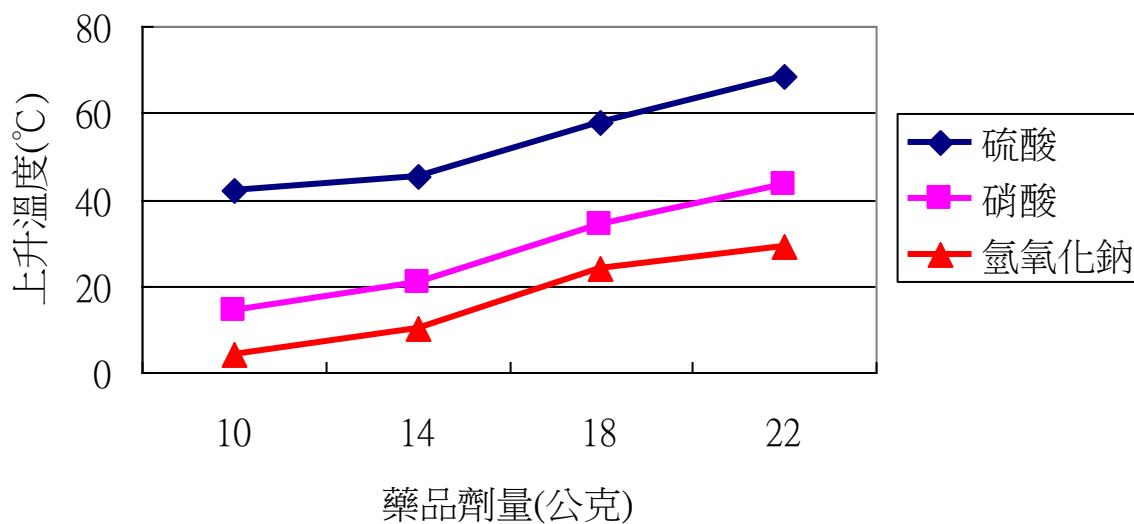
三、由氫氧化鈉加水的放熱反應實驗發現，我們的操作變因是氫氧化鈉的劑量，而應變變因是水的溫差。發現它們彼此之間呈正相關。如下圖表(14)所示。

	氫氧化鈉(g)	水量(ml)	原溫度(°C)	末溫度(°C)	溫差(°C)	時間(秒)
第一次	10	50	26.1	29.3	4.2	34.5
第二次	14	50	26.2	37.4	10.2	36.5
第三次	18	50	25.4	48.6	24.2	35.6
第四次	22	50	26.3	55.3	29.0	40.3



圖表(14) 氫氧化鈉與溫差的關係圖表

四、下圖(15)為硫酸、硝酸、氫氧化鈉的放熱狀況比較。



圖(15)為硫酸、硝酸、氫氧化鈉的放熱狀況比較

四、水單純只加鐵粉、或是只加鋁粉、或是只加鎂粉、或是只加氧化鈣、或是只加碳酸鈉。水溫的變化非常不明顯。如下表(16)所示。

變因項目		水量(ml)	藥品(克)	原溫度(°C)	末溫度(°C)	溫差(°C)	時間(秒)
一	鐵粉加水	50	5	27.5	27.6	0.1	60
二	鋁粉加水	50	5	27.2	27.6	0.4	60
三	鎂粉加水	50	5	28.1	28.2	0.1	60
四	氧化鈣加水	50	5	27.1	44.3	17.2	60
五	碳酸鈉加水	50	5	26.5	26.7	2.1	60

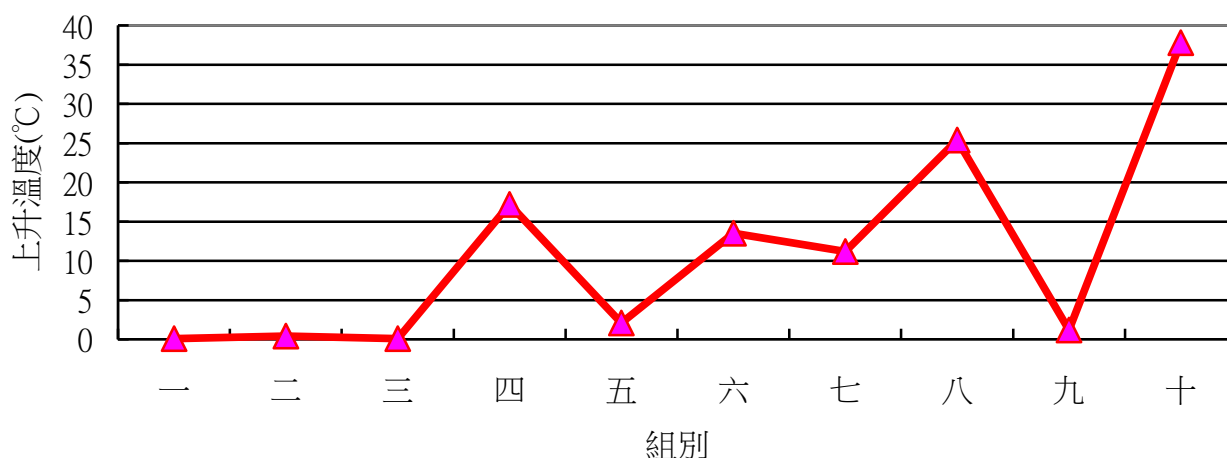
表(16)為五組的單品藥劑加水的水溫上升變化

五、參考市售的發熱劑，成分各有差異，成分比例也沒有標示。我們組合出以下 5 種組合，分別加水測量其溫度變化如下表(17)所示。

變因項目		水量(ml)	藥品(克)	原溫度(°C)	末溫度(°C)	溫差(°C)	時間(秒)
六	碳酸鈉、活性碳粉、鋁粉 氧化鈣	50	各 5 克	24.3	37.8	13.5	60
七	氧化鈣、鋁粒、碳酸氫鈉	50	各 5 克	26.0	37.2	11.2	60
八	碳酸鈉、焦炭粉、生石灰 鋁粉、鐵粉	50	各 5 克	25.1	50.5	25.4	60
九	鋁粉、碳酸鈣、氫氧化鈣 碳酸氫鈉、氫氧化鈉	50	各 5 克	25.4	26.6	1.2	60
十	鐵粉、氯化鈉、氧化鈣	50	各 5 克	25.5	63.3	37.8	60

表(17) 為五組的組合藥劑加水後的水溫上升變化

六、將十組藥品的上升溫度合併成一折線圖比較，如下圖(18)所示。

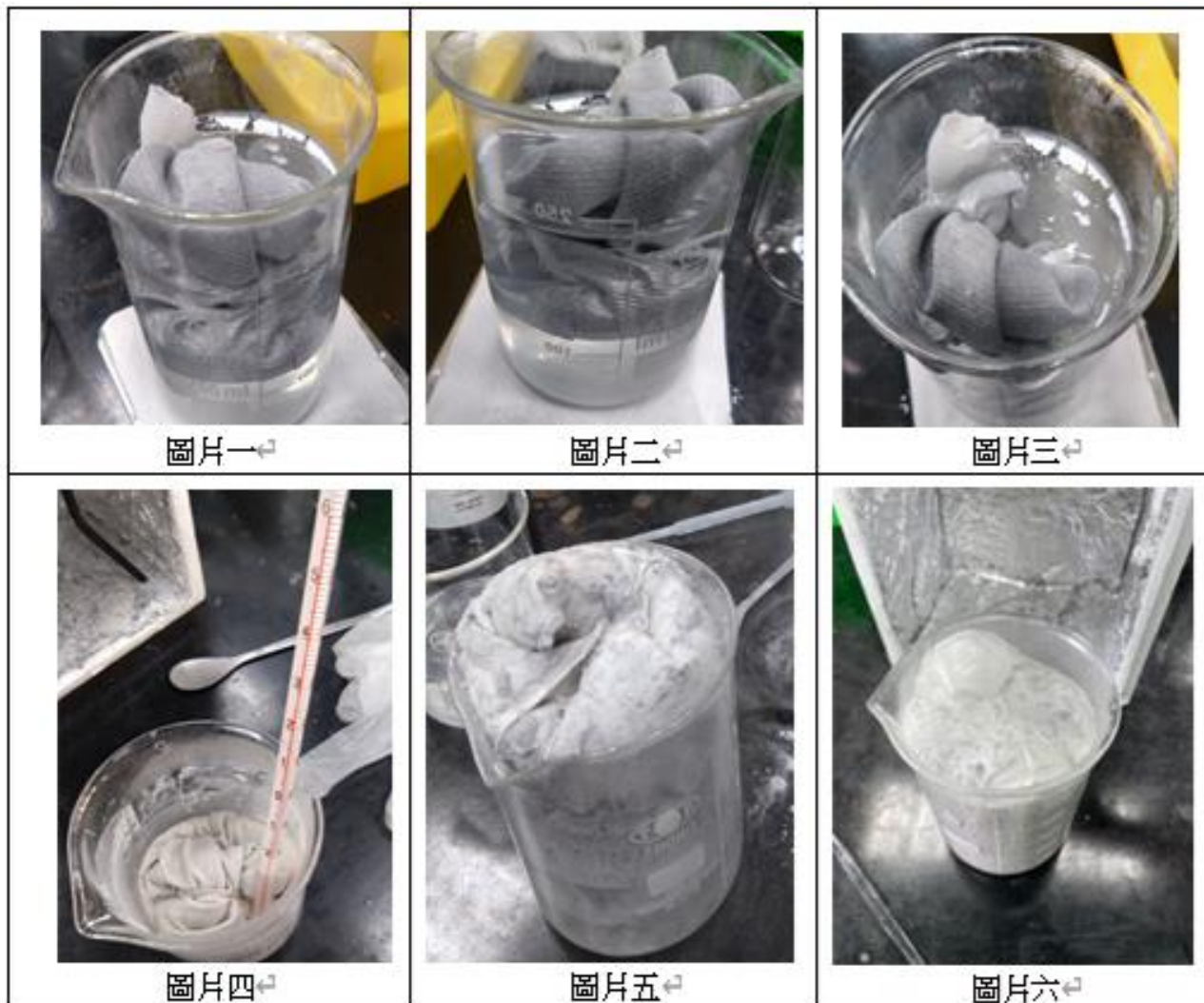


圖(18) 十組藥品加水的水溫上升折線圖

七、失敗作品：如下圖(19)所示。

(一)、圖片一~三，為溫度幾乎上升不到 10°C 的實驗。

(二)、圖片四~六，為溫度上升到 $40\sim 80^{\circ}\text{C}$ 左右，但都不到沸騰狀態。但有小冒熱氣。



圖(19) 調配失敗的發熱劑作品

七、成功的第一次：當碳酸鈉 2(公克)、矽藻土 2(公克)、鐵粉 2(公克)、鋁粉 2(公克)、活性炭粉 2(公克)、氯化鈉 2(公克)、氧化鈣 80(公克)時，我們成功的讓 50ml 的水沸騰噴水氣。如下圖(20)所示。

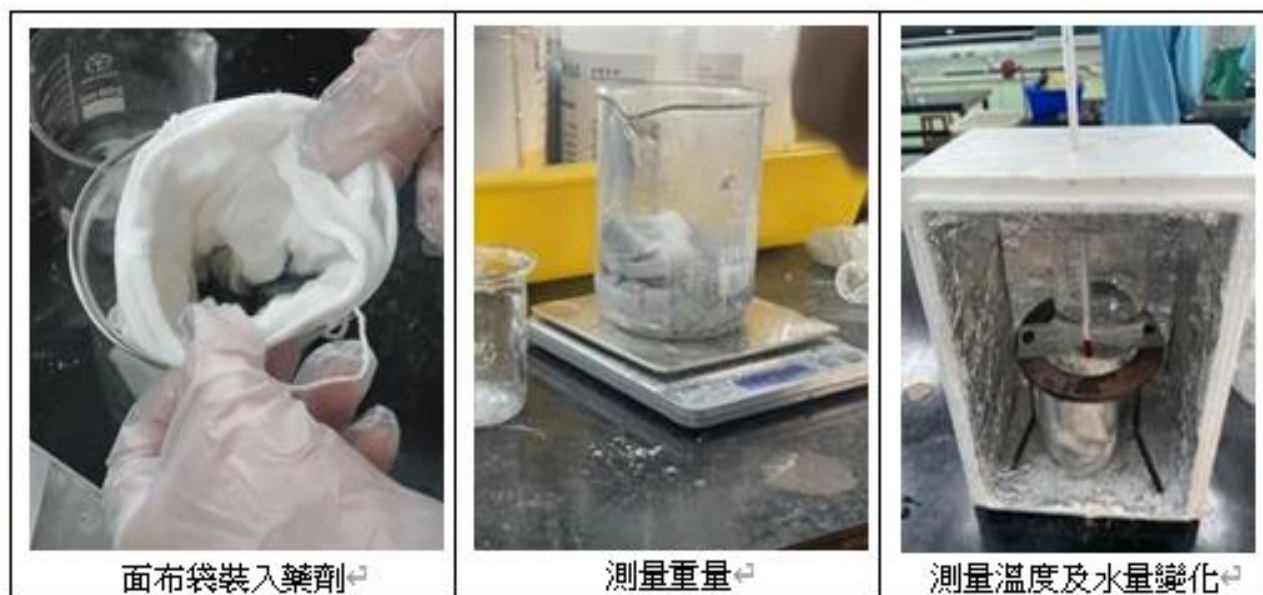


圖(20) 成功的放熱反應，使水大量冒水氣

八、所以我們依照此藥劑種類，來調整發熱劑的催化劑比例作了以下二種實驗。

(一)、實驗設計原理：如下圖(21)所示。

1. 發熱劑的放熱反應，使水氣噴發，導致水量減少。我們依照減少的水量來判斷發熱的多寡。原本 50ml 的水量，水量減少越多，表示發熱劑的放熱越多。
2. 在隔熱箱內，發熱劑的上方再放一個 50ml 的清水，用此當作裝食物的火鍋器皿。然後再測量此器皿的水溫變化，用以判斷是否可以煮熟食物。



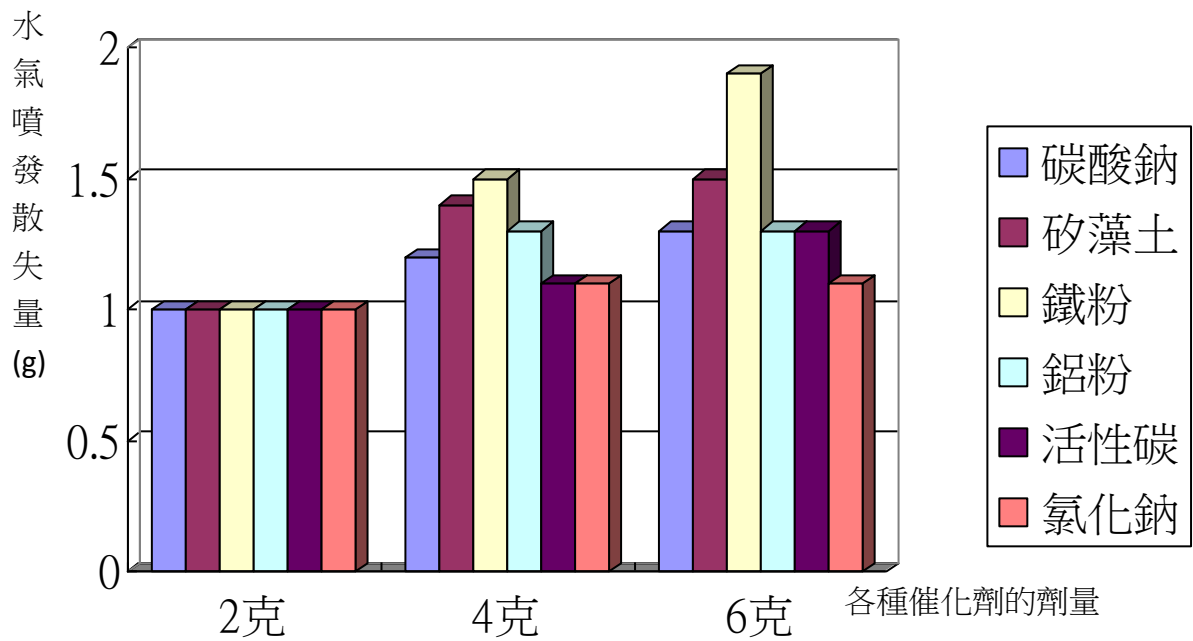
圖(21) 組裝實驗裝置，用以測量放熱反應的效果

(二)、依照此實驗裝置，我們改變各種不同催化劑的比例，然後測量結果如下表(22)。

次數	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
碳酸鈉(公克)	2	4	6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
矽藻土(公克)	2	2	2	4	6	2	2	2	2	2	2	2	2
鐵粉(公克)	2	2	2	2	2	4	6	2	2	2	2	2	2
鋁粉(公克)	2	2	2	2	2	2	2	4	6	2	2	2	2
活性炭粉 (公克)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	6	2	2
氯化鈉(公克)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	6
氧化鈣(公克)	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
原水量(毫升)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
末水量(毫升)	49.0	48.8	48.7	48.6	48.7	48.5	48.1	48.7	48.7	48.9	48.7	48.9	48.9
失去水量 (毫升)	1.0	1.2	1.3	1.4	1.5	1.5	1.9	1.3	1.3	1.1	1.3	1.1	1.1
食物器皿水量 (毫升)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
器皿 原水溫(°C)	27.3	27.1	27.5	27.3	27.4	27.0	27.4	27.5	27.6	27.4	27.8	27.4	26.9
器皿 末水溫(°C)	67.4	69.1	70.5	72.9	73.6	73.4	79.3	69.9	70.1	68.0	70.1	68.2	67.8
器皿 水溫差(°C)	40.1	42.0	43.0	45.6	46.2	46.4	51.9	42.4	43.5	40.6	42.3	40.8	40.9
時間(秒)	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
第 30 秒 末溫(°C)	38.3	36.2	38.4	42.3	43.5	40.2	42.3	30.8	30.5	38.4	36.5	38.7	39.8
第 60 秒 末溫(°C)	49.3	48.6	49.6	56.4	55.6	52.1	54.3	47.3	43.6	45.2	47.5	46.5	47.2
第 90 秒 末溫(°C)	60.8	60.2	64.3	69.3	68.1	69.3	71.2	60.3	59.8	57.8	56.3	57.4	59.3
第 120 秒 末溫(°C)	67.4	69.1	70.5	72.9	73.6	73.4	79.3	69.9	70.1	68.0	70.1	68.2	67.8

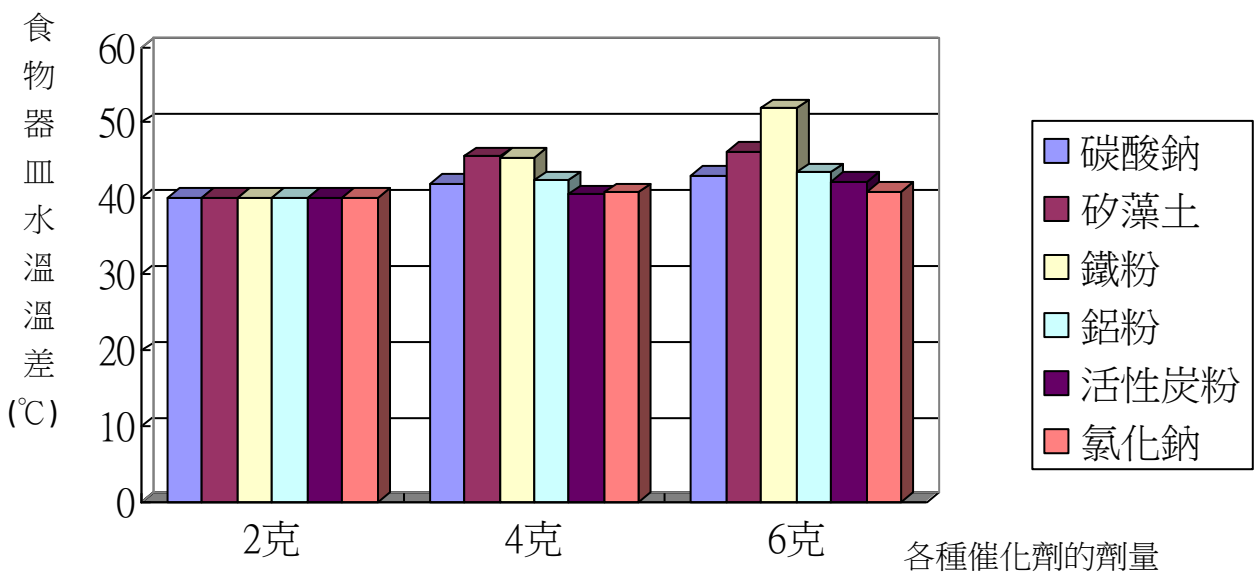
表(22) 不同比例的催化劑對水氣散失量及食物器皿水溫變化的測量

(三)、各種不同劑量的催化劑對水氣噴發散失量的關係。如下圖(23)所示。



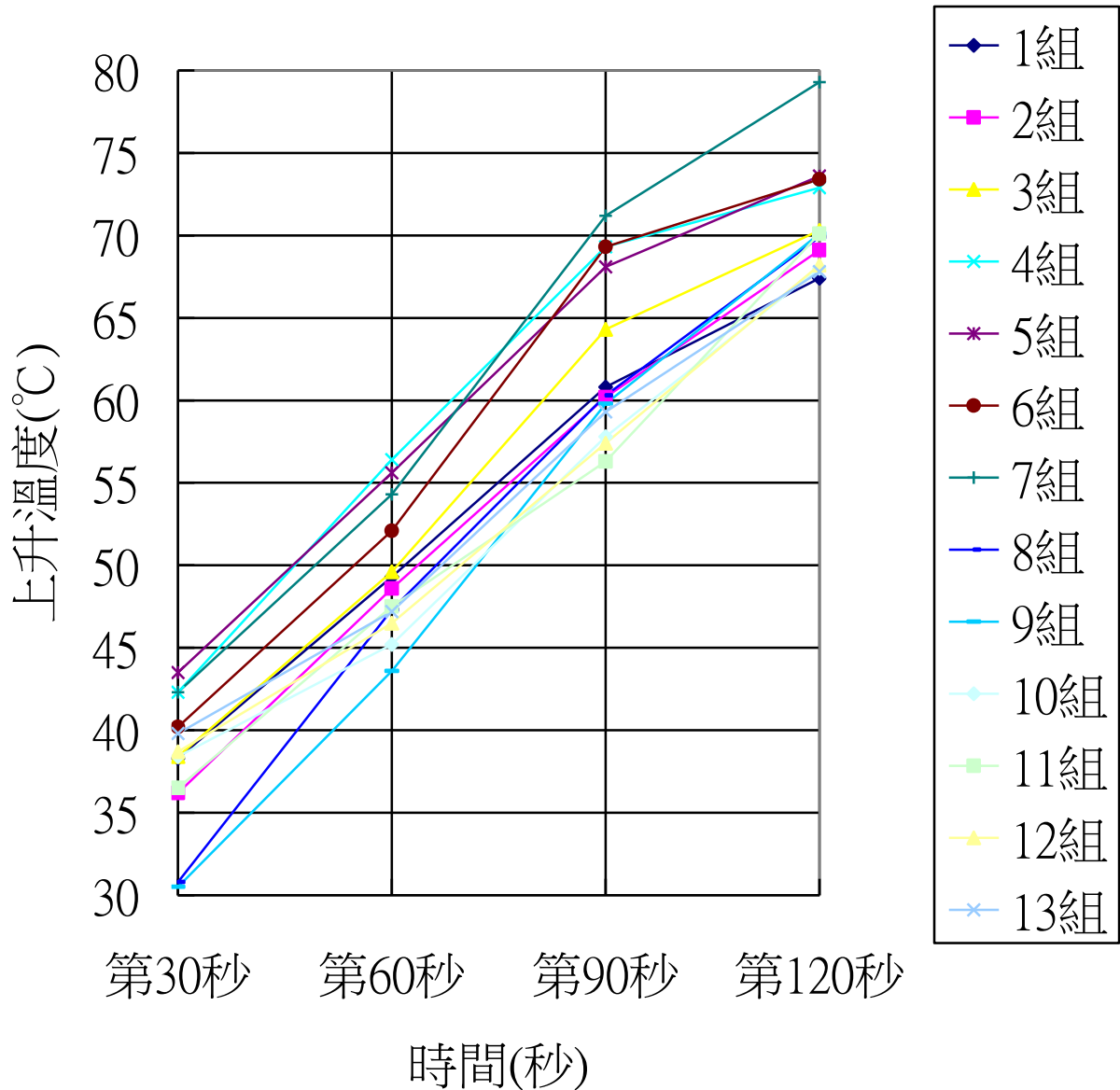
圖(23) 為各種不同劑量的催化劑對水氣噴發散失量的關係

(四)、各種不同劑量的催化劑對食物器皿水溫變化的關係。如下圖(24)所示。



圖(24) 為各種不同劑量的催化劑對食物器皿水溫變化的關係

(五)、13 組實驗中，每隔 30 秒的溫度變化圖，如下圖(25)所示。



圖(25) 為 13 組實驗中，每隔 30 秒的溫度變化圖

(六)、由以上的實驗，我們推論催化劑的劑量最佳比例。最佳比例如下表(26)所示：

成分	氧化鈣	碳酸鈉	矽藻土	鐵粉	鋁粉	活性炭	氯化鈉
比例(克)	120	2	4	6	5	3	2

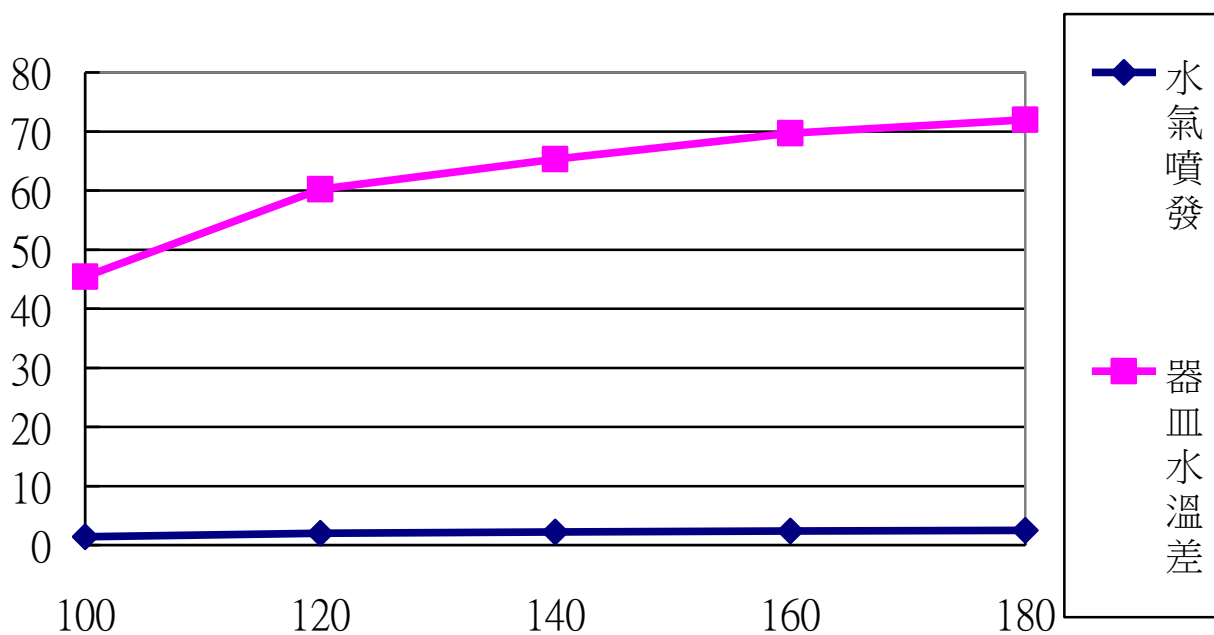
表(26) 由的實驗的數據，我們推論催化劑的劑量最佳比例

(七)、由以上的實驗，我們將催化劑的劑量固定在我們實驗出的最佳比例，然後只改變氧化鈣的劑量，由此來證明，熱源主要來自氧化鈣。實驗結果如下表(27)所示。

次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
碳酸鈉(公克)	2	2	2	2	2
矽藻土(公克)	4	4	4	4	4
鐵粉(公克)	6	6	6	6	6
鋁粉(公克)	5	5	5	5	5
活性炭粉(公克)	3	3	3	3	3
氯化鈉(公克)	2	2	2	2	2
氧化鈣(公克)	100	120	140	160	180
原水量(毫升)	50	50	50	50	50
末水量(毫升)	48.6	48.0	47.8	47.6	47.5
失去水量(毫升)	1.4	2.0	2.2	2.4	2.5
食物器皿水量(毫升)	50	50	50	50	50
器皿原水溫(°C)	28.4	27.4	28.4	27.6	27.8
器皿末水溫(°C)	73.8	87.6	93.7	97.3	99.8
器皿水溫差(°C)	45.4	60.2	65.3	69.7	72.0
時間(分)	3	3	3	3	3

表(27) 為氧化鈣的劑量對水氣散失量及食物器皿水溫變化的關係圖

(八)、將表(27)轉換成折線圖。如下圖(28)為氧化鈣在不同劑量之下水氣散失量及食物器皿水溫變化關係圖。



圖(28) 為不同劑量的氧化鈣與水氣噴發散失量及食物器皿水溫變化關係圖

伍、討論

一、由硫酸、硝酸、氫氧化鈉的放熱狀況比較圖中，我們發現：

1. 相同的劑量之下，放熱效果是**硫酸 > 硝酸 > 氫氧化鈉**。
2. 酸鹼的劑量越多，當然放熱效果越好。但氫氧化鈉是固體，所以溶化較慢，在攪拌過程中，可能也會導致部分熱能散失，造成誤差。
3. 理論上，劑量越多，溫差越大，應該是呈正比關係才對。但事實上並沒有，而且在高劑量時的斜率，平均值比較接近 1 的正比關係。但在低劑量時，斜率的平均值小於 1 的正比關係。我們討論的原因可能有：
 - (1) 小劑量放熱時，因為隔熱箱中的空氣溫度也會上升，所以有吸收部份的熱能。
 - (2) 隔熱箱的內層，因為包有鋁箔紙來隔熱。但在發熱不多的情況之下，鋁箔紙是金屬，也會吸熱。所以熱量無法完全用來使溫度上升。
 - (3) 隔熱箱內的器材，也會吸收部分的熱能，使溫度無法完全上升。所以檢測到的溫度與劑量的關係斜率，略小於 1。而且偏差值蠻明顯的。

二、化學藥品，只單純的加水，所放出的熱量只是單純的溶解熱，要讓 50ml 的水溫上升，實屬艱難，更何況鋁粉、鐵粉、鎂粉幾乎不溶於水。我們都認為水溫應該是不變才對。所以討論的結果是：上升的那 0.1°C 應該是攪拌的能量所導致，或是手握燒杯時，手的體溫傳到給燒杯中的水所導致的。

三、水單純只加鐵粉、鋁粉、鎂粉、碳酸鈉，水溫的變化非常不明顯。但是**氧化鈣**加水，水溫的變化卻有 17.2°C。可見氧化鈣加水的放熱反應還不差。由資料也發現，這是發熱劑的主要熱源。而接下來的實驗就是如何讓此熱源快速而且大量的產生。

四、我們研究幾種市售的免煮火鍋的發熱劑成分。我們發現發熱包都只有寫成分，沒有寫成分的比例關係。所以我們依照每一種發熱包的成分，然後隨意組合來製作發熱包。前好幾次多失敗，所有我們有以下幾種討論：

1. 廠商可能隱瞞某種商業機密。因為他們都在成份的後面寫“...等成分”。
2. 我們所配置的比例完全離譜。
3. 找出最主要的放熱反應，然後再隨機添加催化劑吧。過程中，須上網多多找尋資料，還有多多請教指導老師的意見。

五、我們在網路搜尋很多資料，大都是說到發熱劑的成分，完全沒有重量比例的說明。所以我們只能自己實驗**摸索**成分的比例的關係。我們研究幾種市售的免煮火鍋的發熱劑成分。我們發現產品的成分表大致上有以下幾種，但是也都只有寫成分，沒有成分的百分比關係。

- (一)、碳酸鈉、活性碳粉、鋁粉、氧化鈣。
- (二)、氧化鈣、鋁粒、碳酸氫鈉。
- (三)、碳酸鈉、鐵粉、鋁粉、焦炭粉、生石灰。
- (四)、鋁粉、碳酸鈣、氫氧化鈣、碳酸氫鈉、氫氧化鈉。
- (五)、碳酸鈉、矽藻土、活性碳粉、鋁粉、鐵粉、氯化鈉、氧化鈣。

其中其中第(四)組的溫度幾乎沒有溫度完全上升。而其他第一、二、三組的溫度上升也不明顯。可見廠商還是有些許保留。只有第五組溫度上升最多，所以我們討論之後，以這

一組為實驗研究對象。

六、因為剛開始實驗的第一個月內，我們所實驗的溫度變化幾乎都極不明顯，只是燒杯摸上去一點溫溫的而已。這讓我們一度懷疑，自己所找到的資料是錯的，或是不完整的、或是廠商還是有所保留，還是我們的藥劑重量比例關係錯得離譜。直到十一月 8 日(星期三)，我們的第一次的成功讓水沸騰，讓我們看到了希望，大家都非常的激動，終於成功了。而接下來就是研究不同的反應物之間的比例關係，找出最佳的反應物比例關係了。

七、我們將測量水溫末溫的時間訂為 60 秒是為了以下幾個原因：

(一)、將時間變成控制變因。

(二)、根據我們目視的觀察結果，60 之後，一般溫度溫度大致已經不再變化了。

(三)、若時間太短，則溫度可能還在些微上升中，若是間太長，則可能會因為環境溫度而使溫度下降，或是我們的隔熱箱效果不好而使熱量散失而使溫度下降。

八、當組合藥品可以讓水沸騰之後。我們發現 60 秒之後，溫度還是持續上升中，而且棉布袋還是持續再冒熱氣。所以我們觀察討論之後，將測量末溫的時間調到 120 秒後，再測量食物器皿中水的末溫。

九、因為我們要研究的發熱劑的藥劑總共有 7 種。如果要完整的研究其所有的排列組合。扣掉氧化鈣是定量的 80 公克，其他催化劑的多和少之間的兩兩比較，就不只上百至千種組合。所以我們討論之後的結果，只單純研究增加其中一種藥品的劑量，對發熱劑的影響。

十、在以鋁粉的劑量為操作變因的第 8 組和第 9 組的實驗中。前 30 秒的溫度幾乎上升不大，但在中期的溫度突然爆升。我們討論之後，加上參考指導老師的意見，一致認為應該是鋁粉放置在藥品是的時間較長，導致鋁粉的表層有一層淡淡的氧化鋁。而表層的氧化鋁，一開始保護著內層的鋁，導致實驗一開始的速度較慢。

陸、結論

- 一、我們將硫酸、硝酸、氫氧化鈉等強酸強鹼加入水中，雖然水溫會很明顯上升。但都沒有將水達到沸騰。所以要用來加熱烹煮泡麵或火鍋食材，還遠遠不夠。但實驗結果還是發現，**硫酸**的放熱效果最佳，使水溫上升**最高**，其次是硝酸，最後是氫氧化鈉。
- 二、在單純的藥品加水溶解中，除了硫酸、硝酸、氫氧化鈉會使水的溫度明顯上升外。其他就只有**氧化鈣**有這種現象而已，但上升的溫差和速度均不如強酸強鹼。
- 三、在組合的發熱劑藥品中，發現只要有氧化鈣的存在，就可以讓溫度快速上升。至於輔助的催化劑，則可能因為藥劑的種類和劑量的差異，導致發熱的速率而有所不同。以下是我們經過多次的失敗之後，我們終於能讓發熱劑使水沸騰，且我們的發熱劑其成分的比例如下表(29)所示：

成分	氧化鈣	碳酸鈉	矽藻土	鐵粉	鋁粉	活性炭	氯化鈉
比例(克)	120	2	4	6	5	3	2

表(29)為我們實驗結論的最佳比例關係

雖然和市售的發熱劑成分不一定完全相同，但確實經過我們多次實驗之後，這是在這個成分之下，最好的發熱劑成分比例。

- 四、我們整個實驗發現，單純改變某一種催化劑的劑量，對整體熱量的影響並不大。但是對溫度上升的速率卻有些許的助益。
 - (一)、本實驗以單純加入**鐵粉**，可以讓溫度上升加快最多，而且末溫也提高一些
 - (二)、本實驗再單純加入**鋁粉**時，前 30 秒的溫度變化不大，但在 30 秒到 60 秒之間，會瞬間爆發上升溫度。
- 五、若單純只看加入發熱劑，然後水沸騰之後，所**蒸發的水量**，我們發現。加入的氧化鈣越多，蒸發散失的水量越多。但是就催化劑而言，加入的**鐵粉**越多，蒸發散失的水分也越多，而且明顯可以從實驗數據中看出來。其中最不明顯的就是**氯化鈉**。但這是針對熱量對溫度的提升而言。
- 六、若是觀察各種不同劑量的催化劑對食物器皿水溫變化的關係，還是可以看出，鐵粉的劑量對水溫的影響依然還是最明顯。其他幾乎差不多。我們在一次的失敗實驗中，我們就是**故意**將氯化鈉去除，其他比例依舊，但最後的結果卻是溫度無法到達沸騰。所以我們的結論就是，在這個組合發熱劑中，每一個藥劑都有它的作用，而且都很重要，不是只有單單生熱而已，而是催化加速也重要。
- 七、在氧化鈣為操作變因的這個實驗中，我們確實發現，氧化鈣確實為熱量的主要來源。但由整個實驗來看，大量的熱源固然重要。但我們最終的結論卻是，可以讓這熱量在短時間內大量產生，而使水沸騰的催化劑更為重要一些。至於這些催化藥劑的種類和比例，只能說各家廠商各有一手商業機密，不便公開。

柒、參考資料及其他

- 一、南一出版社，自然科學第四冊，第三章-酸鹼鹽
- 二、龍騰出版社，基礎化學第一冊，第二章 2-4 化學反應熱
- 三、維基百科，矽藻土
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%9F%BD%E8%97%BB%E5%9C%9F>
- 四、百度百科，發熱劑
<https://baike.baidu.hk/item/%E7%99%BC%E7%86%B1%E5%8A%91/5179717>
- 五、維基百科，氧化鈣
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B0%A7%E5%8C%96%E9%88%A3>
- 六、維基百科，自熱食品
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%87%AA%E7%83%AD%E9%A3%9F%E5%93%81>
- 七、台視新聞 TTV NEWS【發現科學】-沒電沒火為何能加熱？ "自熱火鍋"的祕密
<https://www.youtube.com/watch?v=kZEG3JbluY8>
- 八、“自熱火鍋” 竟然這麼危險？
<http://shipin.people.com.cn/BIG5/n1/2019/0917/c85914-31356881.html>
- 九、消費者委員會，方便有代價 解構自熱食物盒迷思
<https://www.consumer.org.hk/tc/article/545-selfheating-food-packs/545-selfheating-food-packs-study-overview>