

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生活與應用科學(三)科
(鄉土)教材獎

033003

自熟「殼」熱—以淡菜殼粉作為自熱包之可行性
探究

學校名稱：連江縣立中山國民中學

作者： 國二 鄭庭宇 國二 王宥翔 國二 王靖雅	指導老師： 曹玉舫 王惠萍
---	-----------------------------

關鍵詞：淡菜殼、自熱包、氧化鈣

自熟「殼」熱—以淡菜殼粉作為自熱包之可行性探究

摘要

本研究想了解利用馬祖天然的廢棄淡菜殼，回收再利用，將淡菜殼透過高溫鍛燒，研磨製成淡菜殼粉，淡菜殼中富含碳酸鈣，依不同比例，研發製作最佳比例的自熱包，並探討不同鍛燒溫度淡菜殼所製成的自熱包之溫度變化，及與市售自熱包的差異性。若能將這些廢棄的淡菜殼，變身為多元用途，不僅可解決廢殼堆棄所造成的環保問題，使淡菜殼的利用更趨多元化，同時也可提昇淡菜殼的附加價值。

壹、研究動機

淡菜是馬祖地區最主要的經濟貝類，且馬祖是全臺最大的淡菜養殖地，淡菜已然是馬祖相當有名的特色觀光產品，是遊客們餐桌上必點的美食，是遠近馳名的美味。但是隨處放置的淡菜廢棄殼不但占空間且易衍生臭味，亦會汙染環境。

先前學長姐曾利用淡菜殼製作吸水杯墊、擴香產品與多肉植物盆器，而我們在理化課也剛好學到，康軒版第四冊第三章常見的酸、鹼性物質，老師介紹到氧化鈣(CaO)時，有給我們觀看生石灰加水放熱的影片，並說明自熱罐、自煮火鍋及自熱包的原理。在課本中也學到常見的鹽類，碳酸鈣(CaCO_3)是大理岩和貝殼等的主要成分，上網蒐集資料時有查詢到別人用牡蠣殼做自熱包，所以我們便想試試淡菜殼是否也可以做為自熱包的發熱來源。

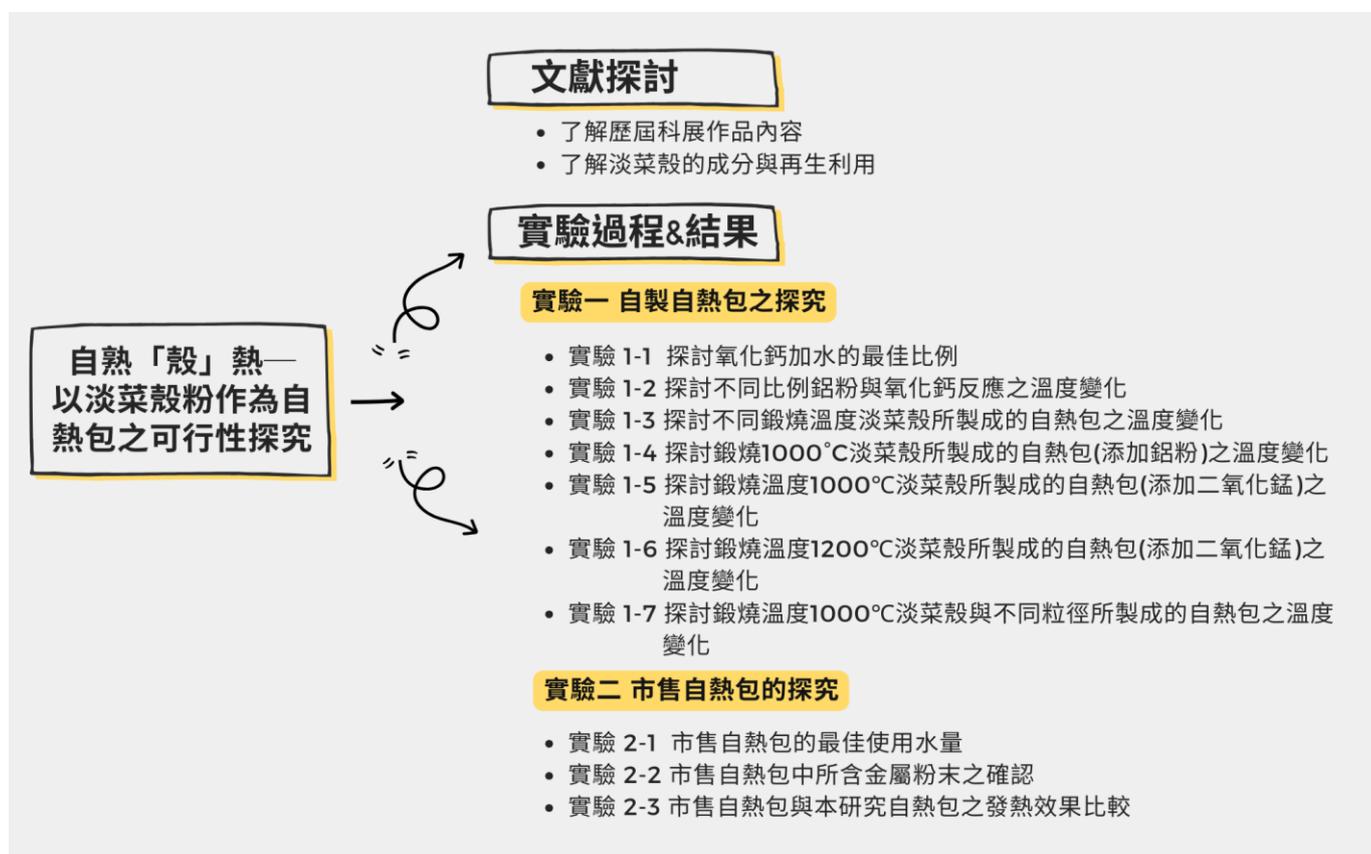
貳、研究目的

- 一、 以淡菜殼粉製作自熱包之可行性。
- 二、 探討自製自熱包，最佳比例之溫度變化。
- 三、 探討不同鍛燒溫度及不同粒徑淡菜殼所製成的自熱包之溫度變化。
- 四、 探討市售自熱包與本研究自熱包之發熱效果。

參、 研究設備及器材

研究設備及器材				
電子秤	烘箱	研磨機	高溫電窯	篩網
鐵鎚	PP 保鮮盒	鑽床	保麗龍箱	燒杯
量筒	鋁箔盒	玻璃棒	洗滌瓶	培養皿
溫度計	碼表	溼度計	秤量紙	火柴盒
廣口瓶	錐形瓶	薊頭漏斗	橡皮管	不織布茶包袋
試管	刮勺	滴管	玻璃片	針筒
研究材料及藥品				
淡菜殼	氧化鈣	鋁粉	市售自熱包	鹽酸
澄清石灰水	二氧化錳	暖暖包		

肆、 研究過程或方法



▲ 實驗架構圖(圖由作者自行繪製)

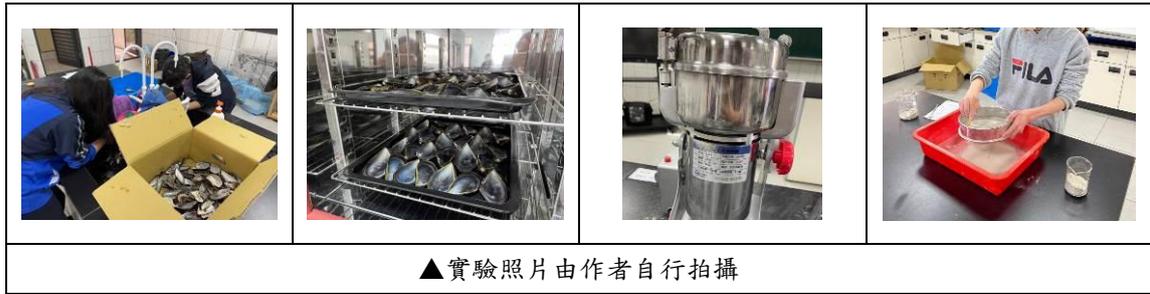
一、 文獻探討

來源	名稱	研究結果
全國中小學科展 第 48 屆(2008 年)	自熱可熱—自動加熱便當盒 DIY	用石灰做為自熱便當的來源，設計自動加熱便當盒。
水試專訊第 69 期 (2020 年 3 月)	以牡蠣殼作為自熱調理食品用自發熱源之初探	以牡蠣殼再生石灰粉的加熱效果，研發牡蠣殼自熱包。
全國中小學科展 第 61 屆(2021 年)	「遇水則發…熱」--自熱包大解密	用石灰做為自熱便當的來源，並探討如何避免氫氣的產生。

實驗開始前，我們搜尋歷屆科展相關作品，想確認我們的研究方向與其中的差異性。關於自熱包的作品，僅有全國科展第 48 屆自熱可熱—自動加熱便當盒 DIY 和全國科展第 61 屆「遇水則發…熱」--自熱包大解密，這兩件作品皆僅用生石灰(氧化鈣)作為自熱包的加熱來源。在上網搜尋資料的過程中，也查詢到水試專訊第 69 期刊，以牡蠣殼作為自熱調理食品用自發熱源之初探。我們便想透過廢棄的淡菜殼來作為再生石灰粉，研發淡菜殼自熱包。

二、 製備淡菜殼試樣：

- (一) 海產廢棄物淡菜殼取自南竿四維沙灘及北竿鄉地區餐廳，為餐桌上的廚餘。
- (二) 以清水刷洗乾淨，再以蒸餾水沖洗，放置於 100°C 烘箱，進行一小時的烘乾過程。
- (三) 以鐵鎚將烘過的淡菜殼敲碎成小塊，再以研磨機磨碎，以 80 及 100 目之篩網分離，製成淡菜殼粉，放置於燒杯內備用。



▲實驗照片由作者自行拍攝

- (四) 為了探討不同鍛燒溫度的淡菜殼，以鐵鎚將烘過的淡菜殼敲碎成小塊，放入高溫電窯，分別鍛燒 800°C、1000°C 及 1200°C 各 2.5 小時，再以研磨機磨碎，以 100 目之篩網分離，製成淡菜殼粉，放置於夾鏈袋內備用。



▲實驗照片由作者自行拍攝

三、 淡菜殼中的碳酸鈣檢驗：

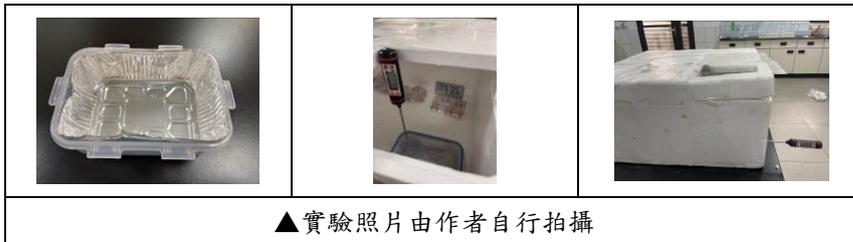
- (一) 為了檢驗淡菜殼的成分是否為碳酸鈣，故我們以排水集氣法收集氣體。
- $$\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$$
- (二) 取 5 克製備好的淡菜殼粉末放入錐形瓶中，並組裝薊頭漏斗。
- (三) 將導管置於裝滿水的廣口瓶中，將 1M 鹽酸由薊頭漏斗上方，慢慢加進錐形瓶中。
- (四) 待水槽內產生氣泡一段時間後，將導管移入廣口瓶內。
- (五) 取點燃的火柴，放入集氣瓶中，檢驗氣體的性質。
- (六) 另取試管裝入 5 毫升澄清石灰水，將導管移入試管中後，將氣體通入澄清石灰水觀察變化。



▲實驗照片由作者自行拍攝

四、 測定工具及裝置設計：

- (一) 將PP材質保鮮盒，於蓋子中央正上方鑽一小孔，以利於蒸氣排出。並於蓋子左上方及盒身各鑽一小孔，保鮮盒內放置鋁箔盒，再將電子溫度計各別插入小孔。
- (二) 使用保麗龍箱，使用暖暖包及溫度計，將溫度維持在 $20.5 \pm 1^\circ\text{C}$ 。



▲實驗照片由作者自行拍攝

五、 自製自熱包

- (一) 自製的自熱包，裝入不織布茶包袋，起初看到文獻有使用雙層不織布茶包袋，但我們測試雙層反應效果不佳，且發現粉末並不會由單層不織布的孔隙露出，故實驗以單層不織布茶包袋封裝，並將其鋪平放入鋁箔盒。
- (二) 有添加鋁粉及二氧化錳粉末的自熱包，將粉末充分混和，攪拌均勻後再裝入不織布茶包袋，用釘書機封口。為了減少誤差，重複測試三次溫度變化，取其平均值。



▲實驗照片由作者自行拍攝

六、 溫度測量：

- (一) 自熱包的原理是利用氧化鈣加水後產生化學反應的熱能，進而加熱食物。我們參考文獻，每隔 30 秒，用上方的電子溫度計測量水的溫度，連續測量 20 分鐘，同時觀察右側電子溫度計之最高蒸氣溫度，並將數值記錄下來。
- (二) 大量冒出蒸氣劇烈時間點以黃底標示，並將蒸氣最高溫紀錄於右側蒸氣溫度欄位。若無劇烈蒸氣，右側蒸氣溫度欄位不記錄。

伍、 研究結果

一、 【實驗一】 自製自熱包之探究

- (一) 實驗 1-1 探討氧化鈣加水的最佳比例。實驗數據如下：溫度(°C)

1. 將不織布茶包袋內放入總質量 80 克的氧化鈣，分別加入 80、120、150、160、200 及 240 克的水。
2. 參考文獻資料，增加粉水比為 80：150 之組別做討論。

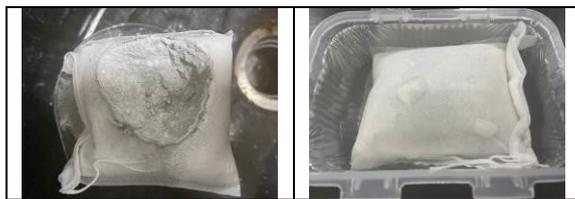
時間(分) 氧化鈣：水	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
80:80(1:1)	20.7	22.8	66.2	97.6	99.4	99.3	99.1	99	98.9	98.8	98.4	97.6	96.3	95.1	93.6	92.1	90.7	89.3	87.8	86.4	84.8
80:120(1:1.5)	20.7	21.8	28.5	53.3	81.6	92.6	95.1	97	98.5	98.6	98.5	98.1	96.9	95.5	93.8	92.5	91.2	89.8	88.3	86.4	85.5
80:150	19.5	20.9	23.4	36.9	55.2	68.8	77.6	82.9	85.7	87.3	87.4	87.5	87.6	87.8	87.7	87.6	87.4	87.1	86.7	86.3	85.9
80:160(1:2)	20.9	20.9	21.6	37.8	57	66.9	72.2	74.7	75.5	76	76.3	76.6	77.6	78.3	78.7	78.9	78.9	78.8	78.6	78.4	78.1
80:200(1:2.5)	21	21.3	21.3	23.7	34.1	44.3	52.3	58.6	61.3	62.6	62.8	62.4	61.6	60.9	60.3	59.8	59.4	59	58.6	57.7	57.1
80:240(1:3)	20.5	20.8	21.1	25.2	35.6	44.1	48.6	51.1	52.4	53	53.3	53.1	53.7	53.8	53.9	54.1	54.3	54.2	54.1	54.2	54.3

時間(分) 氧化鈣：水	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	17.5	18	18.5	19	19.5	20	蒸氣溫度
80:80(1:1)	83.5	82	80.7	79.4	78.1	76.9	75.7	74.5	73.4	72.2	71.1	70	69	68	67.1	66.1	65.1	64.3	63.5	62.6	100
80:120(1:1.5)	85.1	84.3	83.1	82.1	80.9	79.7	78.6	78.7	76.7	75.7	74.8	73.9	73	70.9	71	70.3	69.4	68.5	67.5	66.8	99.7
80:150	85.7	85.3	84.9	84.6	84.1	83.8	83.3	82.9	82.5	82.1	81.5	81.1	80.7	80.3	79.9	79.4	78.9	78.5	77.9	77.7	87
80:160(1:2)	77.6	77.1	76.6	76	75.3	74.8	74.3	73.7	73.1	72.5	71.9	71.3	70.8	70	69.3	68.8	68.3	67.8	67.3	66.9	93.3
80:200(1:2.5)	56.9	56.6	56.5	56.9	56.8	56.1	55.7	55.1	54.5	54.1	53.6	53	52.6	52.1	51.7	51.3	50.8	50.6	50	49.6	84.5
80:240(1:3)	54.2	54.1	53.1	53.5	53.4	53.3	53.1	53	52.8	52.7	52.5	52.1	52.1	51.9	51.6	51.4	51.2	50.9	50.7	50.5	80.9

- (二) 實驗 1-2 探討不同比例鋁粉與氧化鈣反應之溫度變化。實驗數據如下：

1. 將不織布茶包袋內分別放入 5、10、15 及 20 克的氧化鈣，製作總質量 80 克的自製自熱包，加入相同重量 120 克的水。

2. 單層不織布封裝的自熱包，觀察到有破裂現象(左圖)，故增加雙層不織布茶包袋(右圖)實驗做討論。



▲實驗照片由作者自行拍攝

時間(分) 鋁：氧化鈣	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
5:75(1:25)雙層	20	20.7	63.8	77.1	78.8	80.2	81.5	82.8	83.8	84.6	85.2	85.6	85.9	86.1	86.3	86.5	86.6	86.6	86.6	86.5	86.3
5:75(1:25)單層	20.5	23.5	72.8	83.6	86.3	87.9	89.2	89.8	90.1	90.1	90.3	90.6	90.6	90.6	90.6	90.5	90.2	89.9	89.6	89.3	88.9
10:70(1:7)	19.5	19.8	20.2	20.3	20.6	20.9	22.6	29.3	40.1	44.6	46.2	47	47.6	48.1	48.6	49.2	49.8	50.4	51.5	52.3	52.9
15:65(1:5)	20	20.3	20.5	19.6	19.9	20.1	20.6	21.2	22.2	24.2	26	26.5	26.9	27.4	27.8	28.1	28.7	28.6	28.5	28.4	28.4
20:60(1:3)	19.6	19.6	19.6	19.6	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.8	19.8	20	20	20.1	20.1	20.3	20.3	20.5	20.5	20.6	20.6

時間(分) 鋁：氧化鈣	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	17.5	18	18.5	19	19.5	20	蒸氣 溫度
5:75(1:25)雙層	86.2	86.1	85.9	85.7	85.5	85.3	85	84.8	84.5	84	83.7	83.3	82.9	82.5	82.1	81.6	81.2	80.6	80.1	79.7	87.1
5:75(1:25)單層	88.5	88.1	87.6	87.1	86.6	86.1	85.6	85.1	84.6	84	83.4	82.8	82.1	81.5	80.9	80.3	79.6	78.9	78.3	77.7	93.7
10:70(1:7)	53.5	54.1	54.6	55.1	55.7	56.2	56.7	56.9	57.6	58	58.5	58.8	59.3	59.6	59.9	60.3	60.5	60.8	61.1	61.3	
15:65(1:5)	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.4	28.5	28.5	28.5	28.5	
20:60(1:3)	20.6	20.7	20.7	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	21	21	21	21.1	21.1	

(三) 實驗 1-3 探討不同鍛燒溫度淡菜殼所製成的自熱包之溫度變化。實驗數據如下：

1. 將淡菜殼(碳酸鈣)以高溫鍛燒，以去除二氧化碳，使成為氧化鈣。



2. 觀察粉末：由左至右分別為氧化鈣、鍛燒 800°C、1000°C 及 1200°C 淡菜殼粉，可以發現氧化鈣及鍛燒 1000°C 及 1200°C 淡菜殼粉顏色較接近，呈白色，而鍛燒 800°C 淡菜殼粉顏色較深一點呈灰色。



▲實驗照片由作者自行拍攝

3. 實驗 1-3-1 淡菜殼鍛燒 800°C 與不同粉水比發熱效果

茶包袋放入鍛燒 800°C 的淡菜殼粉 80 克，分別加入 80、120 及 160 克的水。

時間(分) 淡菜殼：水	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
80:80(1:1)	21.1	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3
80:120(1:1.5)	21	21.1	21.3	21.3	21.4	21.3	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.3	21.4	21.4	21.4	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3
80:160(1:2)	20.5	21	21.3	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3

時間(分) 淡菜殼：水	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	17.5	18	18.5	19	19.5	20	蒸氣溫度
80:80(1:1)	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4
80:120(1:1.5)	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.4	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.4	21.3	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4
80:160(1:2)	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3

4. 實驗 1-3-2 淡菜殼鍛燒 1000°C 與不同粉水比發熱效果

茶包袋放入鍛燒 1000°C 的淡菜殼粉 80 克，分別加入 80、120 及 160 克的水。

時間(分) 淡菜殼：水	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
80:80(1:1)	21.4	22.7	23.3	23.8	24.1	24.6	25.1	25.5	25.9	26.4	26.9	27.3	27.8	28.3	28.8	29.3	29.8	30.3	30.8	31.4	32.1
80:120(1:1.5)	21.3	23.1	23.4	23.8	24.2	24.6	24.9	25.4	25.8	26.2	26.6	27	27.5	27.9	28.4	28.8	29.3	29.8	30.6	30.8	31.5
80:160(1:2)	21	21.9	22.1	22.2	22.2	22.2	22.3	22.3	22.5	22.6	22.7	22.8	23	23.1	23.3	23.5	23.6	23.8	24	24.3	24.5

時間(分) 淡菜殼：水	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	17.5	18	18.5	19	19.5	20	蒸氣溫度
80:80(1:1)	32.7	33.3	33.9	34.6	35.3	36	36.8	37.6	38.5	39.4	40.4	41.3	42.3	43.2	43.9	44.7	45.5	46.1	46.6	47.2	
80:120(1:1.5)	31.9	32.6	33.3	33.9	34.3	34.6	34.9	35.4	35.8	36.3	36.9	37.4	37.9	38.5	39	39.3	39.6	40.1	40.5	40.9	
80:160(1:2)	24.7	24.9	25.2	25.5	25.8	25.9	26.2	26.5	26.8	27.1	27.3	27.6	27.9	28.2	28.3	28.8	29.1	29.3	29.6	29.9	

5. 實驗 1-3-3 淡菜殼鍛燒 1200°C 與不同粉水比發熱效果

茶包袋放入鍛燒 1200°C 的淡菜殼粉 80 克，分別加入 80、120 及 160 克的水。

時間(分) 淡菜殼：水	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
80:80(1:1)	21.5	22.6	22.9	23.1	23.3	23.5	23.7	23.9	24.1	24.4	24.8	25	25.5	26	26.8	27.7	28.8	30.1	31.3	32.9	34.7
80:120(1:1.5)	21.4	21.8	22	22.1	22.2	22.3	22.4	22.5	22.6	22.8	23	23.2	23.5	23.8	24.1	24.5	24.9	25.5	26.1	26.8	27.5
80:160(1:2)	21.5	21.9	22.5	22.8	22.9	22.9	22.9	22.9	23	23.2	23.3	23.5	23.8	24.5	25.1	25.8	26.5	27	27.7	28.6	29.4

時間(分) 淡菜殼：水	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	17.5	18	18.5	19	19.5	20	蒸氣溫度
80:80(1:1)	37.1	42.9	55.9	98.4	99.8	99.7	98.9	97.5	95.6	93.8	92.1	90.6	89.1	87.7	86.2	85.2	84	82.8	81.3	80.6	99.8
80:120(1:1.5)	28.4	29.8	32.6	36.8	41.5	47	53.9	61	70.8	81	92	91	88.8	87	85.5	84	82.7	81.4	80	78.8	88.1
80:160(1:2)	30.3	31.5	32.7	34.4	37.2	40.9	46.8	52.9	60.3	65.8	69.6	72	74.9	75.9	75.5	74.5	73.6	72.6	71.5	70.4	

(四) 實驗 1-4 鍛燒 1000°C 淡菜殼所製成的自熱包(添加鋁粉)之溫度變化。實

驗數據如下：

- 由實驗 1-3-2 淡菜殼鍛燒 1000°C 與不同粉水比發熱效果，找最佳比 (80:80)，淡菜殼粉與水為 1:1，作為對照組。
- 將兩組添加 5 克鋁粉，一組以不織布茶包袋封裝，另一組直接放置於鋁箔盒，觀察比較有無差異。

時間(分) 鋁：氧化鈣	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
對照組	21.4	22.7	23.3	23.8	24.1	24.6	25.1	25.5	25.9	26.4	26.9	27.3	27.8	28.3	28.8	29.3	29.8	30.3	30.8	31.4	32.1
5:75 單層	21.4	22.7	22.7	23.1	23.3	23.6	36.5	85.8	92.9	93.9	93.5	92.6	91.8	91.1	90.4	89.6	88.8	87.9	86.8	85.9	84.8
5:75 無	21	22.5	22.9	23.2	23.8	25.1	29.1	60.9	95.6	97.2	96.8	96.8	96.4	96	95.3	94.6	93.7	92.8	91.9	90.8	89.8

時間(分) 鋁：氧化鈣	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	17.5	18	18.5	19	19.5	20	蒸氣溫度
對照組	32.7	33.3	33.9	34.6	35.3	36	36.8	37.6	38.5	39.4	40.4	41.3	42.3	43.2	43.9	44.7	45.5	46.1	46.6	47.2	
5:75 單層	83.8	82.9	81.7	81	80	79.1	78.2	77.3	76.3	75.4	74.3	73.7	72.8	71.9	71.7	70.2	69.5	68.7	67.9	67.1	95.3
5:75 無	88.7	87.8	86.6	85.5	84.3	83.1	81.9	80.8	79.6	78.3	77.2	76	74.9	73.8	72.6	71.6	70.6	69.6	68.6	67.6	96.4

(五) 實驗 1-5 探討鍛燒溫度 1000°C 淡菜殼所製成的自熱包(添加二氧化錳)之溫度變化。實驗數據如下：

- 實驗 1-5-1 淡菜殼鍛燒 1000°C 與添加二氧化錳之發熱效果
 - 由實驗 1-4 鍛燒 1000°C 淡菜殼所製成的自熱包(添加鋁粉)，粉與水比例為 1:1，其中有添加 5 克鋁粉，作為對照組。
 - 兩組分別添加 5 克與 10 克二氧化錳。
 - 測量高溫區間(90°C 以上)，每隔 1 分鐘以針筒抽取蒸氣，並用燃燒的火柴檢驗，連續測 8 次。

時間(分) 添加二氧化錳	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
對照組	20.3	20.4	20.6	20.8	21	21.3	22.4	55.1	91.2	94.2	94.6	94.8	94.7	94.6	94.4	94.2	93.8	93.2	92.7	92.1	91.4
二氧化錳 5 克	20.1	20.4	20.8	20.9	21	21.3	23	61.4	90.5	93.8	94.2	94.5	94.6	94.5	94.1	93.9	93.5	93.1	92.8	92.4	91.9
二氧化錳 10 克	20.9	21	21.3	21.7	22.6	24.3	42.5	87.6	93.6	94.3	94.5	94.7	94.6	94.5	94.2	93.9	93.5	93.1	92.7	92.2	91.9

時間(分) 添加二氧化錳	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	17.5	18	18.5	19	19.5	20	蒸氣溫度
對照組	91.1	90.9	90.6	90.1	89.6	89.1	88.4	87.8	87.3	86.5	86	85.3	84.8	84.1	83.5	82.9	82.3	81.6	81	80.4	95.6
二氧化錳 5 克	91.5	91	90.5	90	89.5	89.1	88.4	88	87.5	86.9	86.5	85.9	85.4	84.6	83.9	83.3	82.5	81.9	81.5	80.9	94.7
二氧化錳 10 克	91.5	90.9	90	89.5	89.5	88.9	88.5	87.9	87.3	86.8	86.1	85.6	84.9	84.3	83.8	83.1	82.6	82	81.4	80.8	95.6



▲實驗照片由作者自行拍攝

2. 實驗 1-5-2 淡菜殼粉鍛燒 1000°C(先磨粉後鍛燒)與添加二氧化錳之發熱效果

(1) 起初沒有窯烤電爐等設備，我們原先在製備淡菜殼試樣時，是先磨粉後再使用卡式爐鍛燒，但實驗後發現卡式爐溫度不夠高，僅三至四百度。後續借到窯烤電爐設備，便將原先的粉末也拿去鍛燒。



▲實驗照片由作者自行拍攝

(2) 想瞭解先磨粉後鍛燒與先鍛燒後磨粉是否有差異，故重複實驗 1-5-1 步驟。

時間(分)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	
二氧化錳																						
對照組	20.8	21.3	21.3	21.5	21.9	22.5	24.7	31.5	34.1	43	57.1	68.7	77	81.3	81.6	81.8	81.5	81	80.7	80.3	80	
二氧化錳 5 克	20.7	20.7	20.7	20.8	20.9	21.9	21.5	22.7	24.1	25.9	26.8	28.3	30.5	34.1	37.1	39.6	42.1	44.7	47.2	49.6	51.1	
二氧化錳 10 克	20.5	20.5	21.1	21.4	21.9	22.8	24.5	28.3	32.3	43.3	54.4	63.1	68.5	71.2	72.5	73.5	73.8	73.7	73.5	73.2	72.9	

時間(分)	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	17.5	18	18.5	19	19.5	20	蒸氣溫度
二氧化錳																					
對照組	79.5	79	78.4	77.8	77.1	76.5	75.9	75.1	74.5	73.9	73.3	72.6	71.9	71.5	70.8	70.1	69.6	68.9	68.5	67.9	
二氧化錳 5 克	52.5	53.5	54.1	54.5	54.7	54.8	54.9	54.9	54.8	54.8	54.6	54.6	54.4	54.3	54.2	53.9	53.7	53.5	53.3	53.1	
二氧化錳 10 克	72.5	72.1	71.6	71.1	70.7	70.1	69.5	68.9	68.3	67.7	67.1	66.6	65.9	65.3	64.8	64.2	63.6	63	62.5	61.9	

(六) 實驗 1-6 探討鍛燒溫度 1200°C 淡菜殼所製成的自熱包(添加鋁粉及二氧化錳)之溫度變化。實驗數據如下：

1. 由實驗 1-5-1 鍛燒 1000°C 淡菜殼所製成的自熱包(添加 5 克鋁粉及 10 克

二氧化錳)，粉與水比例為 1:1，作為對照組。

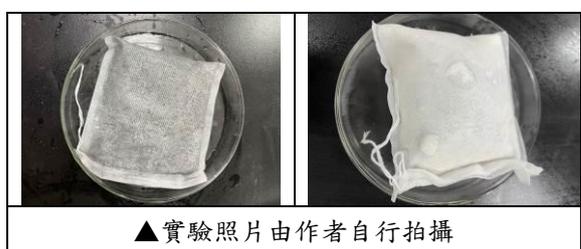
2. 測量高溫區間(90°C 以上)，每隔 1 分鐘以針筒抽取蒸氣，並用燃燒的火柴檢驗，連續測 8 次。

時間(分) 鍛燒溫度	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
1000°C	20.9	21	21.3	21.7	22.6	24.3	42.5	87.6	93.6	94.3	94.5	94.7	94.6	94.5	94.2	93.9	93.5	93.1	92.7	92.2	91.9
1200°C	21.5	22.1	22.6	22.8	23.3	23.7	24.9	95.6	98.7	98.6	98.3	97.9	97.4	96.7	95.8	94.9	93.9	92.9	91.7	91	90.1

時間(分) 鍛燒溫度	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	17.5	18	18.5	19	19.5	20	蒸氣溫度
1000°C	91.5	90.9	90	89.5	89.5	88.9	88.5	87.9	87.3	86.8	86.1	85.6	84.9	84.3	83.8	83.1	82.6	82	81.4	80.8	95.6
1200°C	89.1	88.3	87.2	86.5	85.6	84.6	83.6	82.6	81.6	80.8	79.9	78.9	78.1	77.1	76.1	75.2	74.5	73.6	72.8	71.9	102

(七) 實驗 1-7 探討鍛燒溫度 1000°C 淡菜殼與不同粒徑所製成的自熱包(添加鋁粉及二氧化錳)之溫度變化。實驗數據如下：

1. 分別以 80 及 100 目之篩網分離，比較不同粒徑大小 0.15 mm (80 目)、0.18 mm (100 目) 之發熱變化。
2. 0.15 mm (80 目) 粒徑自熱包與水反應後(如左圖)，0.18 mm (100 目) 自熱包與水反應後(如右圖)。



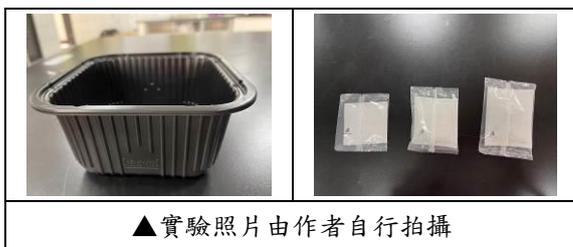
時間(分) 鍛燒溫度	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
0.15 mm 80 目	21	21.2	21.4	22	22.5	23.5	25.2	26.7	27.7	28.2	28.6	28.7	29	29.2	29.5	29.7	30	30.1	30.4	30.6	30.8
0.18 mm 100 目	20.9	21	21.3	21.7	22.6	24.3	42.5	87.6	93.6	94.3	94.5	94.7	94.6	94.5	94.2	93.9	93.5	93.1	92.7	92.2	91.9

時間(分) 鍛燒溫度	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	17.5	18	18.5	19	19.5	20	蒸氣溫度
0.15 mm 80 目	31.1	31.3	31.5	31.8	32.1	32.3	32.5	32.8	33.1	33.3	33.5	33.7	33.9	34.1	34.3	34.5	34.5	34.5	35	35.2	
0.18 mm 100 目	91.5	90.9	90	89.5	89.5	88.9	88.5	87.9	87.3	86.8	86.1	85.6	84.9	84.3	83.8	83.1	82.6	82	81.4	80.8	95.6

二、【實驗二】市售自熱包的探究

(一) 實驗 2-1 市售自熱包的最佳使用水量。實驗數據如下：

1. 市售自熱包，通常未告知加水量，容器雖有標示注水線，但同樣容器，對比不同質量的自熱包，應有不同的添加水量。



2. 實驗 2-1-1 市售自熱包(80 克)加水的最佳比例

將質量 80 克的市售自熱包，分別加入 100、125、150、175、200、225 及 250 克的水。

時間(分) \ 水量	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
100 克水	20.3	60.9	95.9	97.3	97.3	97.5	97.4	97.3	97	96.8	96.3	95.7	95	94.3	93.4	92.5	91.4	90.5	89.5	88.4	87.1
125 克水	20.2	51	89.1	96.5	96.8	96.6	96.6	96.6	96.5	96.5	96.5	96.2	95.9	95.5	94.9	94.3	93.6	92.9	92.7	91.3	90
150 克水	20.2	59.1	88.5	95.9	96.4	96.6	96.6	96.7	96.8	96.8	96.6	96.3	95.9	95.6	95.1	94.5	93.9	93.4	92.6	92	91.3
175 克水	20	40	79.1	94.9	96.7	97	97.3	97.3	97.3	97.3	97.3	97	96.6	96.1	95.5	94.9	94.3	93.7	93	92.3	91.5
200 克水	20.5	36.3	86.1	95.5	98.3	98.4	98	97.6	97.3	97.1	97	96.9	96.8	96.8	96.7	96.7	96.6	96.5	96.5	96.3	96
225 克水	21	21.6	64.6	76	85.6	91.9	94.7	95.3	95.5	95.6	95.6	95.5	95.3	95.2	95.1	95.1	95	94.8	94.6	94.5	93.9
250 克水	20.8	20.9	45.9	64.8	74.3	83.5	90.2	93.9	95.4	95.7	95.7	95.6	95.5	95.4	95.2	94.9	94.9	94.8	94.8	94.6	94.5

時間(分) \ 水量	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	17.5	18	18.5	19	19.5	20	蒸氣溫度
100 克水	86.2	85.1	84	82.9	81.8	80.8	79.8	78.8	77.9	77	76.1	75.2	74.3	73.3	72.4	71.6	70.8	69.9	69.1	68.4	97.4
125 克水	89.5	88.7	87.8	86.8	85.9	85	84	83	82.1	81.2	80.4	79.3	78.4	77.5	76.7	75.8	74.9	74.1	73.2	72.5	97.7
150 克水	90.6	89.8	89.1	88.3	87.5	86.8	85.9	85.3	84.6	83.9	83.1	82.2	81.5	80.5	80	79.2	78.5	77.8	77.1	76.1	97.7
175 克水	90.8	89.9	89.2	88.4	87.6	86.8	85.8	85.1	84.3	83.5	82.7	81.9	81.1	80.3	79.6	78.9	78.1	77.4	76.7	76	97.2
200 克水	95.8	95.5	95.1	94.8	94.4	94	93.6	92.9	92.3	91.36	90.9	90.1	89.3	88.4	87.5	85.6	84.7	84.1	83.7	82.7	98.4
225 克水	93.4	92.9	92.6	92	91.4	90.4	89.9	89.3	88.7	87.6	86.8	85.6	84.3	83	81.5	80	78.5	76.9	75.4	74	96.1
250 克水	94.3	94.1	93.7	93.5	93.2	92.9	92.5	92.2	90.6	90.6	90.3	89.4	88.5	87.5	86.4	85.2	84.1	82.9	81.2	80.1	96.8

3. 實驗 2-1-2 市售自熱包(50 克)加水的最佳比例

將質量 50 克的市售自熱包，分別加入 75、100、125、150、175 及 200 克的水。

時間(分) \ 粉：水(水量)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
1:1.5 (75g 水)	20.9	64.3	84.1	91.6	94.6	95.8	96.1	96.3	96.4	96.4	96.6	96.4	96.1	95.7	95.3	94.7	94.1	93.4	92.6	91.8	90.9
1:2 (100g 水)	20.7	20.9	55.3	82.1	93.8	96.4	96.6	96.6	96.6	96.5	96.3	96.1	96.3	95.8	95.4	95	94.5	93.8	93	91.9	90.9
1:2.5 (125g 水)	20.8	31.3	58.3	75.5	87.9	94.6	96.1	96.5	96.5	96.5	96.4	96.3	96.1	95.9	95.8	95.5	95.3	95	94.9	94.7	95.1
1:3 (150g 水)	20.9	31.2	60	78.5	91.6	96.1	96.7	96.7	96.6	96.5	96.3	96.3	96.1	95.9	95.8	95.6	95.5	95.3	95.3	95.1	94.9
1:3.5 (175g 水)	21	23.6	53.1	71.1	84.1	91.3	94.8	95.8	96.1	96.2	96.1	96.1	95.9	95.8	95.7	95.6	95.4	95.1	94.9	94.6	94.4
1:4 (200g 水)	21	23.6	43.8	62.9	72.8	79.8	85.6	89.8	92.5	94	94.9	95.3	95.5	95.5	95.4	95.4	95.5	95.3	95	94.8	94.5

時間(分) 水量	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	17.5	18	18.5	19	19.5	20	蒸氣 溫度
1:1.5 (75g 水)	89.9	89.1	88.1	87.2	86.3	85.3	84.3	83.3	82.3	81.3	80.1	79.1	78.2	77.2	76.3	75.3	74.3	73.3	72.4	71.5	96.7
1:2 (100g 水)	89.9	88.9	87.9	86.9	85.8	84.7	83.6	82.6	81.5	80.5	79.3	78.3	77.3	76.3	75.3	74.3	73.3	72.4	71.4	70.5	97
1:2.5 (125g 水)	95.1	94.7	94.2	93.5	92.8	92	91.1	90.3	89.3	88.5	87.4	86.3	85.3	84.3	83.1	82	80.8	79.8	78.8	77.8	97
1:3 (150g 水)	94.8	94.6	94.4	94.2	93.8	93.1	92.3	91.3	90.4	89.3	88.3	87.2	86.1	85	83.8	82.8	81.6	80.6	79.6	78.5	97.1
1:3.5 (175g 水)	94.2	93.8	93.5	93.1	92.6	92.1	91.5	91	90.5	89.8	89.2	88.6	87.8	87	86.1	85.1	84.1	83	81.9	80.9	96.9
1:4 (200g 水)	94.2	93.7	93.3	92.8	91.7	90.8	90.3	89.8	88.6	87.3	86.3	85.1	84.1	83	81.9	80.9	79.8	78.9	78	77.3	95.8

4. 實驗 2-1-3 市售自熱包(30 克)加水的最佳比例

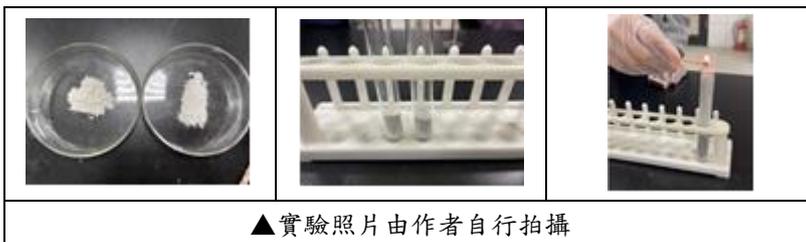
將質量 30 克的市售自熱包，分別加入 45、60、75、90、105 及 120 克的水。

時間(分) 粉：水(水量)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
1:1.5 (45g 水)	20.8	20.8	65.8	94.2	96.3	96.6	96.9	96.6	95.8	94.6	93.1	91.2	89.1	86.9	84.6	82.5	80	78.1	76.1	73.9	72.4
1:2 (60g 水)	20.3	22.2	83.8	94.6	95.6	96	96.3	96.1	95.8	95.5	95.1	94.6	93.7	92.5	91.1	89.6	88	86.5	84.9	83.3	81.8
1:2.5 (75g 水)	21	21.6	67.3	85.3	93.6	95.9	96.3	96.3	96	95.6	95	94.2	93.5	92.7	92.1	91.5	90.3	88.9	87.7	86.3	84.9
1:3 (90g 水)	20.7	20.5	73.6	87.5	93.2	94.4	95.3	95.3	95.1	94.7	94.1	93.6	92.8	91.5	90.1	88.1	86.1	83.9	81.9	78.8	78.5
1:3.5 (105g 水)	21	21.6	49.1	81.1	89.9	93.2	93.5	94.1	94.1	93.9	93.3	92.7	92.1	91.3	90.3	89	88	87.2	85.9	84.3	83.1
1:4 (120g 水)	21	21.6	43.5	75.1	81.3	86	88.8	90.5	91.2	91.7	91.8	91.8	91.9	91.2	90.8	89.9	88.9	88.1	87.1	86.1	85.1

時間(分) 水量	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	17.5	18	18.5	19	19.5	20	蒸氣 溫度
1:1.5 (45g 水)	70.3	68.3	66.4	64.7	63.2	61.8	60.4	58.9	57.7	56.6	55.5	54.4	53.3	52.3	51.4	50.5	49.7	48.9	48.1	47.3	96.3
1:2 (60g 水)	80.3	78.8	77.3	79.3	74.6	73.2	71.9	70.6	69.6	68	67.3	66.3	65.2	64.2	63.3	62.3	61.2	60.3	59.6	58.9	96.3
1:2.5 (75g 水)	83.6	82.1	80.7	79.3	78	76.6	75.4	74.2	72.9	71.9	70.8	69.7	68.7	67.7	66.8	65.8	64.7	64	63.2	62.4	96.4
1:3 (90g 水)	76.7	75.3	73.1	71.4	69.8	68.5	67.1	65.1	63.1	61.9	60.8	59.5	58.6	57.6	56.6	55.8	54.9	54	53.3	52.7	95.1
1:3.5 (105g 水)	81.7	80.5	79	77.6	76.5	75.6	74.4	73.1	72.2	71.1	70.2	69.1	68.1	67.2	66.3	65.5	64.6	63.5	63.1	61.9	95.7
1:4 (120g 水)	83.8	82.3	81.2	79.9	78.7	77.5	76.3	75.2	74.1	73.1	71.7	70.7	69.7	68.8	67.8	67	66.2	65.2	64.6	63.8	94.4

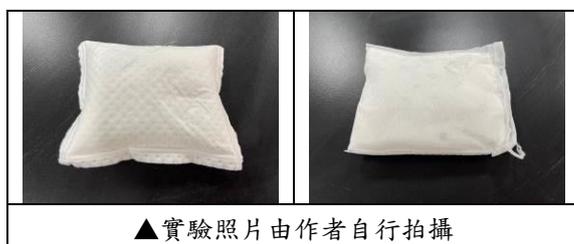
(二) 實驗 2-2 市售自熱包中所含金屬粉末之確認。

1. 觀察粉末：市售自熱包粉末色較深，氧化鈣顏色較白。
2. 氣體檢驗：分別取 5 克市售自熱包粉末及 5 克氧化鈣粉末裝入試管，將 3M 鹽酸滴入試管，觀察變化，並以點燃的火柴測試。



(三) 實驗 2-3 市售自熱包與本研究自熱包之發熱效果比較。實驗數據如下：

1. 將實驗 1-5-1 淡菜殼鍛燒 1000°C 與添加二氧化錳之發熱效果中，添加 10 克的二氧化錳自熱包，與市售 80 克的自熱包做討論。
2. 市售自熱包與水反應後(如左圖)，本研究自熱包與水反應後(如右圖)。



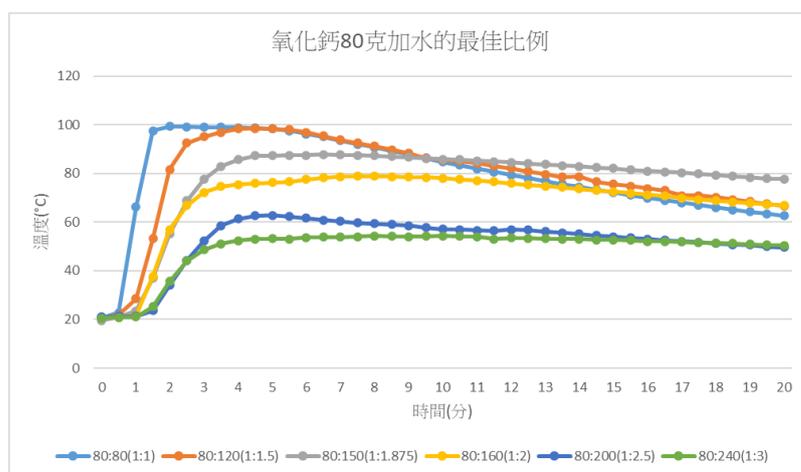
時間(分)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	
自熱包																						
自製(MnO ₂ 10g)	20.9	21	21.3	21.7	22.6	24.3	42.5	87.6	93.6	94.3	94.5	94.7	94.6	94.5	94.2	93.9	93.5	93.1	92.7	92.2	91.9	
市售(80g)200g 水	20.5	36.3	86.1	95.5	98.3	98.4	98	97.6	97.3	97.1	97	96.9	96.8	96.8	96.7	96.7	96.6	96.5	96.5	96.3	96	

時間(分)	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	17.5	18	18.5	19	19.5	20	蒸氣溫度	
自熱包																						
自製(MnO ₂ 10g)	91.5	90.9	90	89.5	89.5	88.9	88.5	87.9	87.3	86.8	86.1	85.6	84.9	84.3	83.8	83.1	82.6	82	81.4	80.8	95.6	
市售(80g)200g 水	95.8	95.5	95.1	94.8	94.4	94	93.6	92.9	92.3	91.36	90.9	90.1	89.3	88.4	87.5	85.6	84.7	84.1	83.7	82.7	98.4	

陸、 討論

一、 【實驗一】自製自熱包之探究

(一) 實驗 1-1 探討氧化鈣加水的最佳比例



▲圖由作者自行繪製

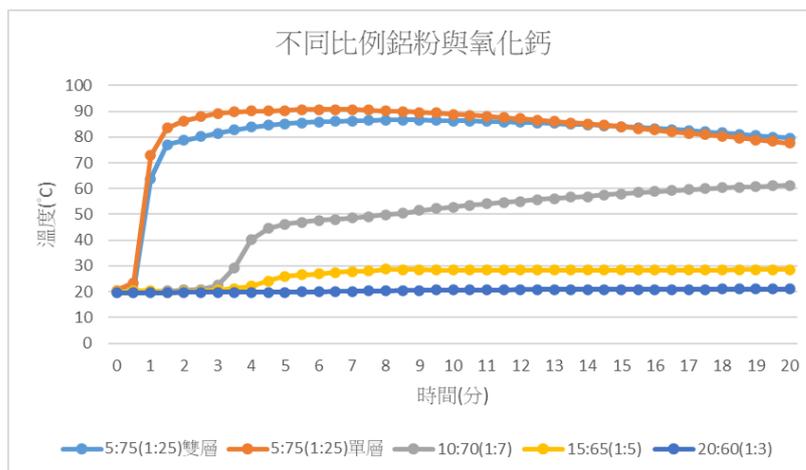
結果分析：

1. 六組實驗中，氧化鈣和水的比例在 1：1、1：1.5 及 1：1.875 時，約在 1.5 分及 1 分鐘時皆有明顯的劇烈蒸氣冒出，而另三組則無劇烈蒸氣。水

量 80 克，右側量測的最高蒸氣達 100.6°C ；水量 120 克時，右側量測的最高蒸氣達 99.7°C ；而水量 150 克時，最高蒸氣溫度為 87°C 。

2. 根據實驗結果，氧化鈣和水的比例在 1:1 及 1:1.5 時，溫度於 2 分鐘內迅速上升，其中又以 1:1 的溫度上升較快，達到 99.4°C 。兩者維持在 70°C 以上的時間相差不多，是加熱效果較好的比例。
3. 水量 150 克時，溫度曲線雖呈現高原區，但最高溫皆無法突破 90°C 。
4. 加入 160 克、200 克及 240 克的水無法讓加熱溫度突破 80°C ，且水量愈多，溫度上升愈慢。

(二) 實驗 1-2 探討不同比例鋁粉與氧化鈣反應之溫度變化



▲圖由作者自行繪製

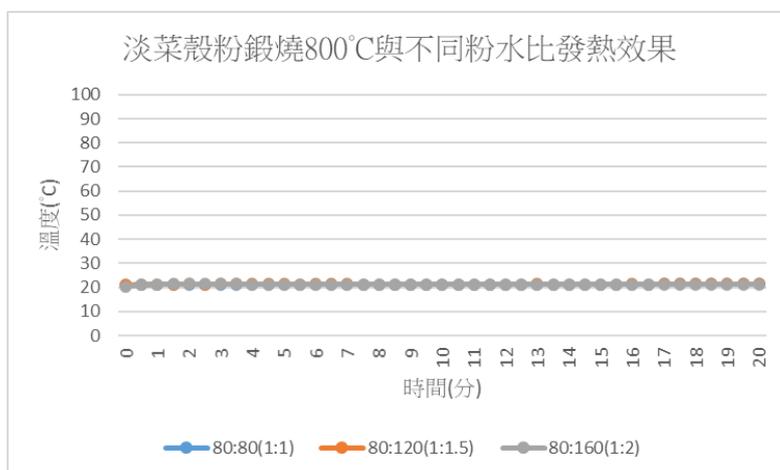
結果分析：

1. 根據實驗結果，加入 5 克的鋁粉，溫度會在 2 分鐘內快速上升，且在 30 秒時有劇烈蒸氣噴出。
2. 單層的不織布茶包袋有破裂情況，上升溫度較雙層不織布茶包袋的高，可達到 90.6°C ，最高量測蒸氣溫度為 93.7°C 。雙層的最高溫度為 86.6°C ，最高量測蒸氣溫度為 87.1°C ，然兩者溫度變化曲線大致相同。

3. 加入 10 克的鋁粉，溫度在 3 分鐘後緩慢上升，20 分鐘僅達 61.3°C ；加入的鋁粉愈多，愈無法讓溫度上升，且 10 克、15 克及 20 克鋁粉，三組實驗中皆無蒸氣噴出。

(三) 實驗 1-3 探討不同鍛燒溫度淡菜殼所製成的自熱包之溫度變化

1. 將 80 克淡菜殼經不同鍛燒溫度 (800°C 及 1000°C) 處理，再以不同粉水比例(1:1、1:1.5、1:2)混合，測量其作為自發熱源之發熱效果。
2. 實驗 1-3-1 淡菜殼鍛燒 800°C 與不同粉水比發熱效果

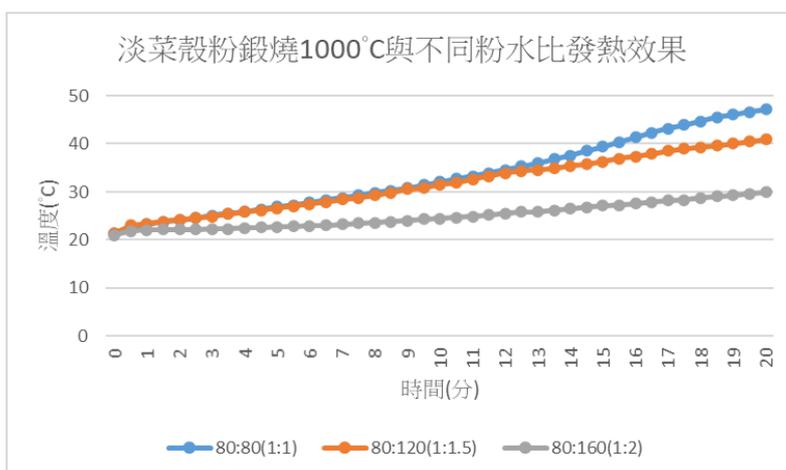


▲圖由作者自行繪製

結果分析：

根據實驗結果，鍛燒 800°C 的淡菜殼粉，幾乎無法讓水溫上升。

3. 實驗 1-3-2 淡菜殼鍛燒 1000°C 與不同粉水比發熱效果



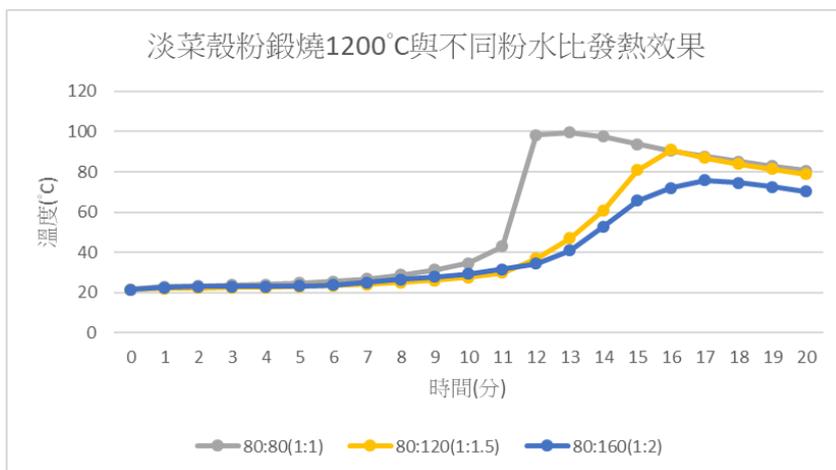
▲圖由作者自行繪製

結果分析：

(1) 根據實驗結果，鍛燒 1000°C 的淡菜殼粉，三組溫度皆緩慢上升，其中以 1:1 的比例，溫度上升較明顯，反應 20 分鐘時，溫度上升至 47.2°C 。

(2) 水量愈多，溫度上升愈不明顯。

4. 實驗 1-3-3 淡菜殼鍛燒 1200°C 與不同粉水比發熱效果



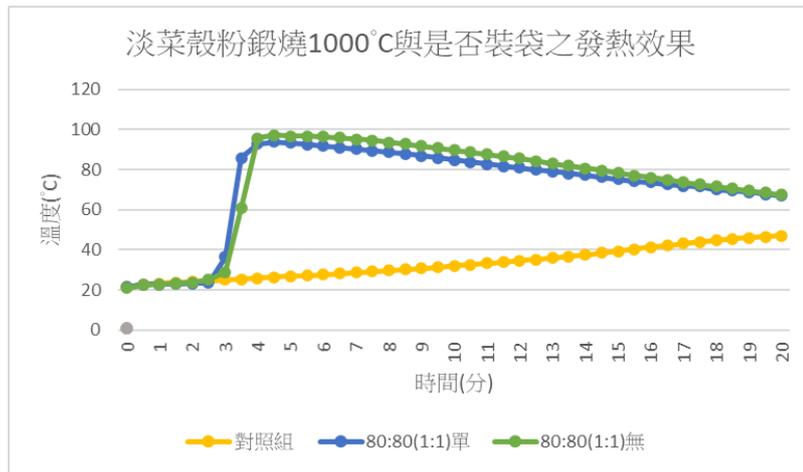
▲圖由作者自行繪製

結果分析：

(1) 根據實驗結果，鍛燒 1200°C 的淡菜殼粉，其中以 1:1 的比例，溫度上升較明顯，反應 12 分鐘時，溫度上升至 98.4°C ，且至 20 分鐘時仍可維持於 80.6°C 。

(2) 水量愈多，溫度上升愈慢且愈不明顯。

(四) 實驗 1-4 鍛燒 1000°C 淡菜殼所製成的自熱包(添加鋁粉)之溫度變化

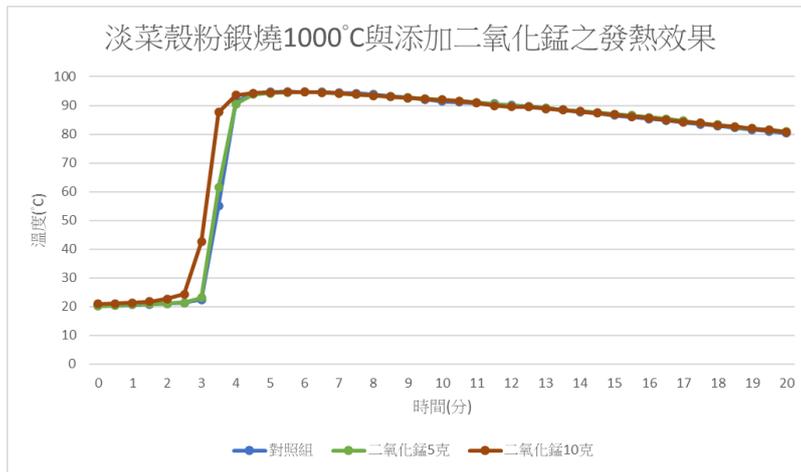


結果分析：

1. 根據實驗結果，添加5克鋁粉的單層不織布茶葉袋自熱包，於3分鐘後開始快速陡升，在4.5分鐘時達到93.9°C。添加5克鋁粉的無裝袋自熱包，在4.5分鐘時達到97.2°C。
2. 添加鋁粉的兩組皆於3分鐘時，大量冒劇烈蒸氣。
3. 添加5克鋁粉的淡菜殼單層不織布茶葉袋自熱包，維持在70°C以上的時間可達14分鐘。
4. 單層不織布組與無裝袋組，兩者加熱曲線差異不大，無裝袋的溫度稍高於單層不織布組。
5. 實驗發現添加鋁粉，可以大幅改變其加熱曲線(與對照組相比)，讓溫度明顯上升。

(五) 實驗1-5 探討鍛燒溫度1000°C淡菜殼所製成的自熱包(添加二氧化錳)之溫度變化

1. 實驗1-5-1 淡菜殼鍛燒1000°C與添加二氧化錳之發熱效果



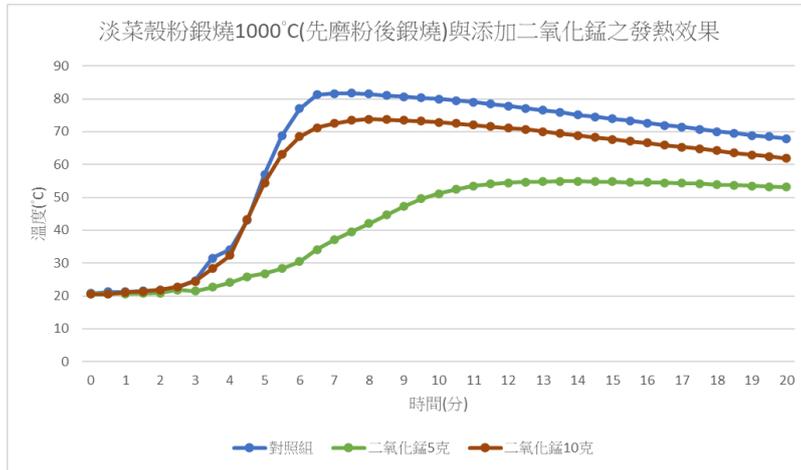
▲圖由作者自行繪製

結果分析：

- (1) 根據實驗結果，添加 5 克二氧化錳與對照組的加熱曲線，大致相同。
三組皆於 3 分鐘時，大量冒劇烈蒸氣。
- (2) 添加 10 克二氧化錳，溫度上升的時間早於另外兩組，4 分鐘以後的溫度曲線，也幾乎與另兩組相同。
- (3) 三組最高溫皆可達到 94°C，且在 4 分鐘開始溫度維持在 90°C 高溫以上的時間可持續至 11.5 及 12 分鐘。直至 20 分鐘時，溫度仍在 80°C。
- (4) 高溫區間(90°C 以上)，每隔 1 分鐘以針筒抽取蒸氣，並用燃燒的火柴檢驗，連續測 8 次。結果如下表：

次數	1	2	3	4	5	6	7	8
分鐘數	4	5	6	7	8	9	10	11
對照組	有	有	有	有	有	有	有	有
5 克	有	有	有 (變小聲)	有	有	有 (變小聲)	有	有
10 克	有	有	有 (變小聲)	無	無	無	無	無

2. 實驗 1-5-2 淡菜殼粉鍛燒 1000°C(先磨粉後鍛燒)與添加二氧化錳之發熱效果



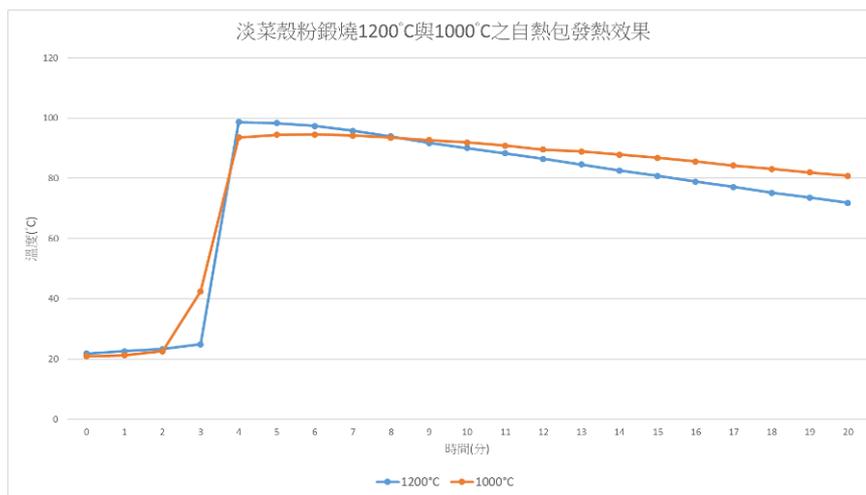
▲圖由作者自行繪製

結果分析：

- (1) 根據實驗結果，先磨粉後鍛燒的淡菜殼粉，溫度上升較緩慢，僅對照組最高溫超過 80°C。
- (2) 另兩組添加二氧化錳，溫度皆低於對照組，且添加 5 克二氧化錳比添加 10 克二氧化錳，溫度上升變化更不明顯。

(六) 實驗 1-6 探討鍛燒溫度 1200°C 淡菜殼所製成的自熱包(添加二氧化錳)之

溫度變化



▲圖由作者自行繪製

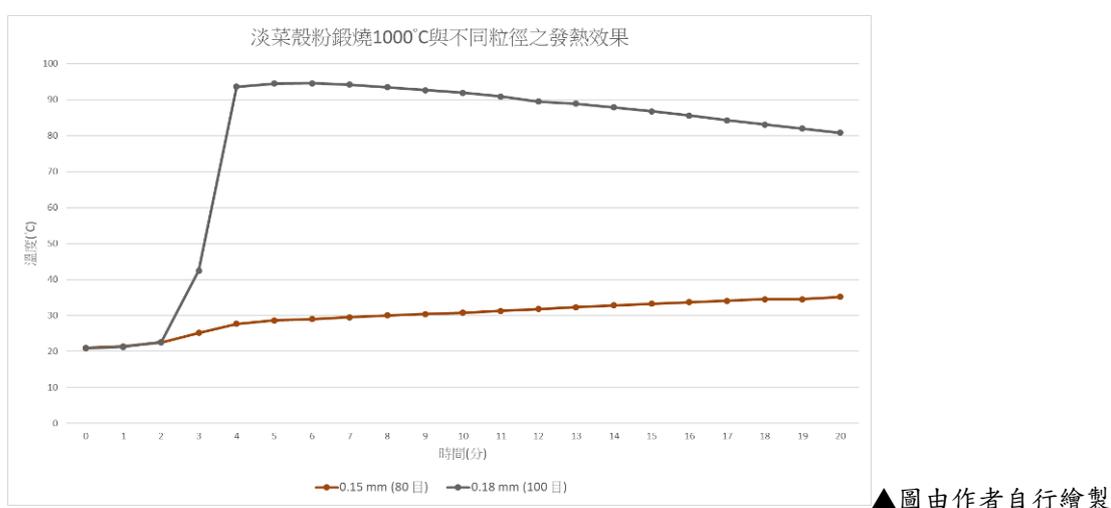
結果分析：

- (1) 根據實驗結果，鍛燒 1200°C 的淡菜殼粉，於 4 至 8 分鐘時溫度稍高於鍛燒 1000°C 的淡菜殼粉，但於 8 分鐘後溫度下降低於 1200°C 的淡菜殼粉。

(2) 高溫區間(90°C 以上)，每隔 1 分鐘以針筒抽取蒸氣，並用燃燒的火柴檢驗，連續測 8 次。結果如下表：

次數	1	2	3	4	5	6	7	8
分鐘數	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5
1200°C	有	有	無	有 (變小聲)	有 (變小聲)	無	無	無

(七) 實驗 1-7 探討鍛燒溫度 1000°C 淡菜殼與不同粒徑所製成的自熱包之溫度變化



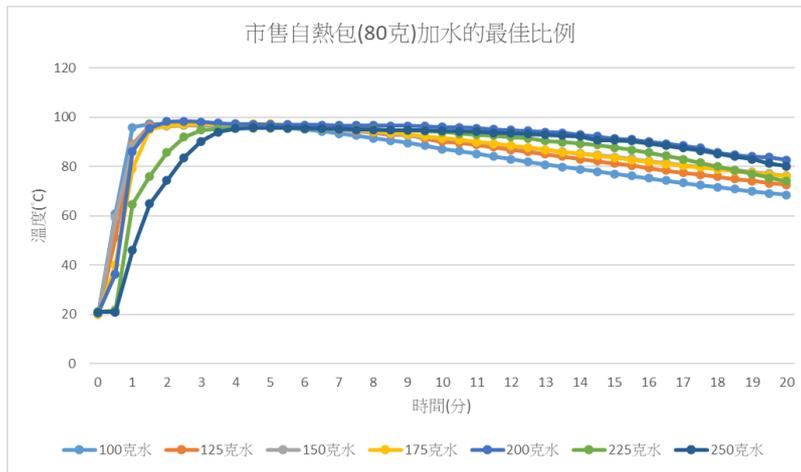
結果分析：

根據實驗結果，兩種不同粒徑的淡菜殼粉，0.15 mm (80 目)粒徑自熱包幾乎無法讓溫度上升，20 分鐘僅上升至約 35°C，且自熱包無明顯膨脹變硬的情形。

二、【實驗二】市售自熱包的探究

(一) 實驗 2-1 市售自熱包的最佳使用水量

1. 實驗 2-1-1 市售自熱包(80 克)加水的最佳比例

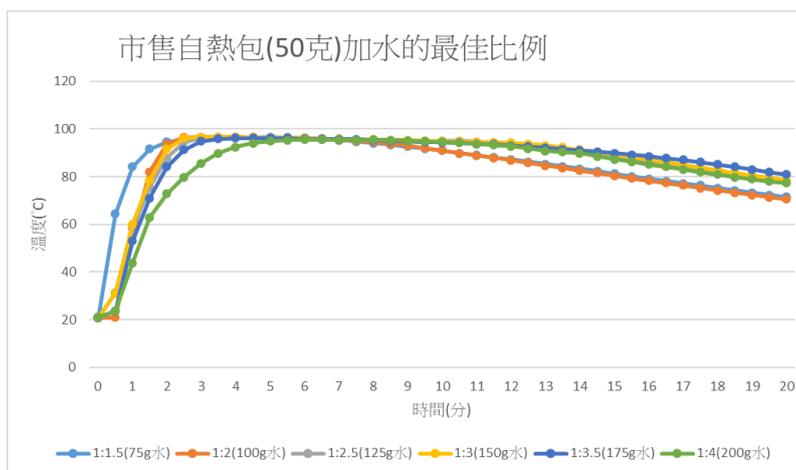


▲圖由作者自行繪製

結果分析：

- (1) 根據實驗結果，水量較少的五組，在 2 分鐘內溫度陡升情況較明顯，在 5 分鐘之後整體有下降的趨勢，又以水量最少的，下降最低。
- (2) 七組溫度皆可達 96°C，且各組的最高蒸氣溫度也都達 96°C 以上。水量較多的兩組，維持在高溫 80°C 以上的時間也較久。
- (3) 市售自熱包 80 克，以 200 克水組之發熱效果最佳，量測到的最高蒸氣溫度也最高為 98.4°C。

2. 實驗 2-1-2 市售自熱包(50 克)加水的最佳比例



▲圖由作者自行繪製

結果分析：

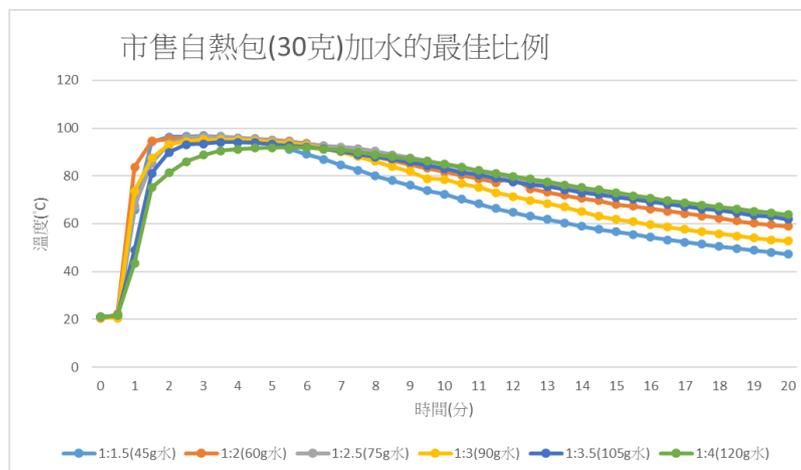
- (1) 根據實驗結果，水量最少的 1:1.5，在 1 分鐘內溫度陡升情況較明顯，

水量少的兩組，在 7 分鐘之後整體有下降的趨勢。

(2) 六組溫度皆可達 96°C ，且各組的最高蒸氣溫度也都達 95°C 以上。水量較多的四組，維持在高溫 80°C 以上的時間也較久。

(3) 市售自熱包 50 克，以 125 克水及 150 克水組之發熱效果最佳，量測到的最高蒸氣溫度也最高約為 97°C 。

3. 實驗 2-1-3 市售自熱包(30 克)加水的最佳比例



▲圖由作者自行繪製

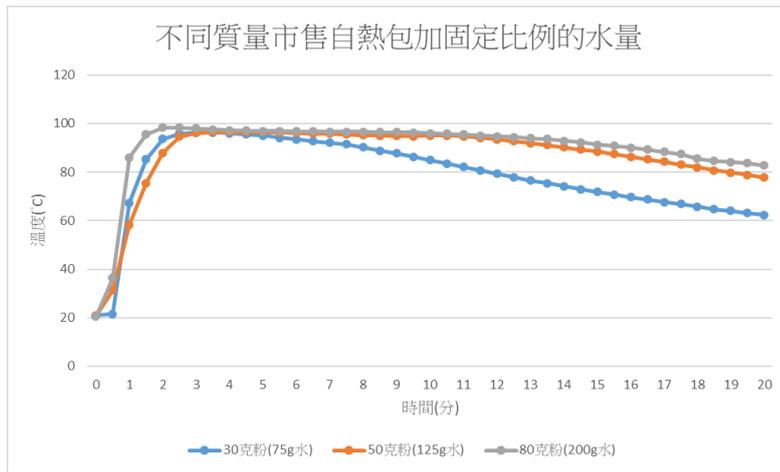
結果分析：

(1) 根據實驗結果，水量較少的，在 1.5 分鐘內溫度陡升情況較明顯，在 5 分鐘之後整體有下降的趨勢，又以水量最少的，溫度下降最低。

(2) 水量最少的三組，最高溫可達 96°C ，隨著水量增加，最高溫也逐漸降低，但相對維持在高溫的時間也較久。且各組的最高蒸氣溫度也都達 95°C 以上。

(3) 市售自熱包 30 克，以 75 克水組之發熱效果最佳，量測到的最高蒸氣溫度也最高為 96.4°C 。

5. 實驗 2-1-4 市售自熱包同質量加固定比例的水



▲圖由作者自行繪製

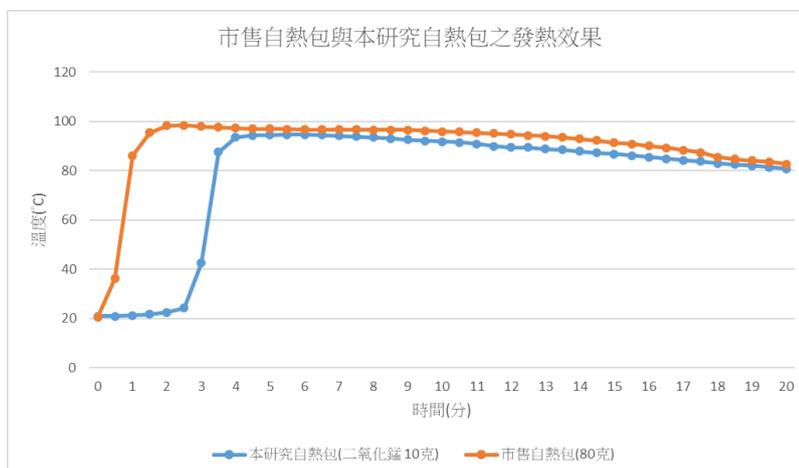
結果分析：

- (1) 將質量 30 克、50 克及 80 克的自熱包，挑選最佳粉水比 1：2.5，數據作圖後，可發現最高溫及蒸氣溫度皆相差不多。
- (2) 質量愈大的自熱包，溫度於 2 分鐘內上升愈快，維持高溫的時間亦較久。質量愈小的自熱包，溫度下降較快，較不易維持溫度。

(二) 實驗 2-2 市售自熱包中所含金屬粉末之確認

1. 取 5 克市售自熱包粉末及 5 克氧化鈣粉末裝入試管，將 3M 鹽酸滴入試管後，氧化鈣試管無反應，市售自熱包試管大量冒氣泡。
2. 以點燃的火柴測試，試管口有明顯的爆鳴聲。

(三) 實驗 2-3 市售自熱包與本研究自熱包之發熱效果比較



▲圖由作者自行繪製

結果分析：

1. 根據實驗結果，市售自熱包 80 克，最佳水量為 200 克，在 0.5 分鐘反應快速上升，2 分鐘時溫度已超過 90°C。
2. 本研究自熱包最佳配方，為鍛燒 1000°C 淡菜殼粉 75 克、鋁粉 5 克及二氧化錳 10 克，加入 80 克水。在 2.5 分鐘時，反應快速上升，4 分鐘時溫度已超過 90°C，持續至 20 分鐘時，仍可維持在 80°C。
3. 自熱包與水反應後，冷卻觀察，兩組皆有膨脹、變硬及變重的情形。

柒、 結論

一、 【實驗一】自製自熱包之探究

(一) 實驗 1-1 探討氧化鈣加水的最佳比例

1. 自熱包的主要成分為氧化鈣，氧化鈣與水反應，會放出大量的熱。



2. 氧化鈣加水後幾乎不溶解，起初溫度上升幅度不大，氧化鈣和水的比例在 1:1 及 1:1.5 時，溫度於兩分鐘內快速上升，其中又以 1:1 的溫度上升較快，但 1:1.5 整體溫度高於 1:1，兩者維持在 70°C 以上的時間相差不多，是加熱效果較好的比例。
3. 粉水比為 8:15 時，溫度曲線雖呈現較一致的高原區，但最高溫皆無法突破 90°C。

(二) 實驗 1-2 探討不同比例鋁粉與氧化鈣反應之溫度變化

1. 僅以氧化鈣與水反應時，雖可讓水溫上升與產生高溫蒸氣，但隨著反應時間，溫度亦逐漸下降，無法呈現高原區，加熱效果有限。參考文獻，

自熱包的成分除了氧化鈣外，通常會加入鋁粉。

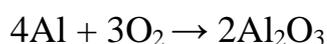
2. 研究發現加入少量 5 克的鋁粉，可讓溫度曲線呈現高原區。但加入的鋁粉愈多，反而愈無法讓溫度上升。

(三) 實驗 1-3 探討不同鍛燒溫度淡菜殼所製成的自熱包之溫度變化

1. 實驗前先以稀鹽酸檢驗淡菜殼是否含有碳酸鈣，以排水集氣法收集氣體，並以澄清石灰水及火柴檢驗氣體，證明成分為碳酸鈣。將碳酸鈣以高溫鍛燒，以去除二氧化碳，使成為氧化鈣。發現淡菜殼鍛燒越久，顏色愈白，顏色與氧化鈣(生石灰)粉末較接近。
2. 鍛燒 800°C 的淡菜殼粉，幾乎無法讓水溫上升，推測可能因鍛燒溫度不夠高，導致淡菜殼中碳酸鈣未完全轉化成氧化鈣，而影響發熱效果。鍛燒溫度 1000°C 及 1200°C 組，在 1:1、1:1.5、1:2 三個粉水比中，以 1:1 組之發熱效果最佳，但 1000°C 組反應 20 分鐘時，溫度也僅上升至 47.2°C。三組中，以鍛燒 1200°C 組的反應最佳，推測鍛燒時間越久，所得氧化鈣純度越高。

(四) 實驗 1-4 探討鍛燒 1000°C 淡菜殼所製成的自熱包(添加鋁粉)之溫度變化

1. 查詢文獻資料，為了讓溫度升高，自熱包會添加鋁粉，由反應式得知鋁粉易發生氧化，會產生氫氣，並放出熱量。氧化鈣(生石灰)反應所產生的氫氧化鈣(熟石灰)，可以接續和鋁粉持續作用，並持續放出熱量。



2. 添加 5 克鋁粉的自製自熱包，於 3 分鐘後開始快速陡升，在 4.5 分鐘時

達到 93.9°C，且維持在 70°C 以上的時間可達 14 分鐘。

3. 由實驗發現添加鋁粉，可以大幅改變其加熱曲線(與對照組相比)，讓溫度明顯上升。
4. 無裝袋組溫度稍高於單層不織布組，但兩者加熱曲線差異不大，顯示本實驗用之單層包材，不致於影響自製自熱包的加熱曲線。

(五) 實驗 1-5 探討鍛燒溫度 1000°C 淡菜殼所製成的自熱包(添加二氧化錳)之溫度變化

1. 由實驗 1-4 產生化學反應及發熱，會釋出易燃的氫氣，自熱包在使用上會有安全上的疑慮。查詢文獻，參考全國科展第 61 屆「遇水則發…熱」——自熱包大解密報告，顯示將 5 克二氧化錳加入自製自熱包，可以部份消除氫氣。故我們在實驗 1-5-1，分別添加 5 克與 10 克二氧化錳至自製淡菜殼粉自熱包中，發現添加 10 克二氧化錳組，溫度上升的時間早於 5 克及對照組，4 分鐘以後的溫度曲線，也幾乎與另兩組相同。亦即添加少量的二氧化錳，不會影響加熱效果，且添加 10 克二氧化錳組效果優於另兩組。
2. 高溫區間(90°C 以上)，每隔 1 分鐘以針筒抽取蒸氣，並用燃燒的火柴檢驗氫氣。對照組的 8 次，皆有響亮的爆鳴聲。5 克二氧化錳組，8 次有 3 次較小聲。10 克二氧化錳組，8 次中的前三次有爆鳴聲，後 5 次無爆鳴聲。顯示加入 10 克二氧化錳確實有效降低部分氫氣的產生。
3. 而實驗 1-5-2 先磨粉後鍛燒的淡菜殼粉，溫度上升較緩慢，僅對照組最

高溫超過 80°C。粉末顏色也比先鍛燒後磨粉的淡菜殼粉，來的較深一些，推測應是大量的粉末堆疊在碗中，可能碳酸鈣未完全轉化成氧化鈣，導致加熱效果不佳。而實驗 1-5-1 為先鍛燒後磨粉，是殼跟殼的堆疊放置，鍛燒所得氧化鈣純度較高。

(六) 實驗 1-6 探討鍛燒溫度 1200°C 淡菜殼所製成的自熱包(添加二氧化錳)之溫度變化

鍛燒 1000°C 的淡菜殼粉，溫度上升早於 1200°C；鍛燒 1200°C 的淡菜殼粉於 4 至 8 分鐘時溫度稍高於鍛燒 1000°C 的淡菜殼粉，但於 8 分鐘後溫度下降低於 1200°C 的淡菜殼粉；鍛燒 1000°C 的淡菜殼粉，在 3.5 分鐘時達到 87.6°C，且持續至 20 分中時溫度皆可維持在 80°C 以上。

(七) 實驗 1-7 探討鍛燒溫度 1000°C 淡菜殼與不同粒徑所製成的自熱包之溫度變化

本實驗分析兩種不同粒徑，0.15 mm (80 目)與 0.18 mm (100 目)淡菜殼粉發熱效果，結果發現 0.18 mm (100 目)溫度上升明顯，而 0.15 mm (80 目)粒徑自熱包幾乎無法讓溫度上升，20 分鐘僅上升至約 35°C，且自熱包無明顯膨脹變硬的情形。亦即淡菜殼粉粒徑越小，其表面積越大，反應速率越快。

二、【實驗二】市售自熱包的探究

(一) 實驗 2-1 市售自熱包的最佳使用水量

1. 市售自熱包，通常未告知消費者確切的加水量，同樣的容器，雖有標示注水線，但對比不同質量的自熱包，應有不同的水量。

2. 由數據可知，市售自熱包 80 克，以 200 克水組之發熱效果最佳，量測到的最高蒸氣溫度為 98.4°C。市售自熱包 50 克，以 125 克水及 150 克水組之發熱效果最佳，量測到的最高蒸氣溫度約為 97°C。市售自熱包 30 克，以 75 克水組之發熱效果最佳，量測到的最高蒸氣溫度最高為 96.4°C。
3. 可以發現市售自熱包的最佳粉水比，大約為 1：2.5，且總質量愈大，維持高溫的時間亦較久。

(二) 實驗 2-2 市售自熱包中所含金屬粉末之確認

查詢文獻得知，市售自熱包大致都含有鋁粉，故將鹽酸滴入試管後，氧化鈣(生石灰)對照組試管無反應，而市售自熱包試管大量冒氣泡。並以點燃的火柴測試，試管口有明顯的爆鳴聲，可推測其為可燃的氫氣。

(三) 實驗 2-3 市售自熱包與本研究自熱包之發熱效果比較

1. 不論是市售自熱包還是本研究自熱包，兩者與水反應後，待冷卻觀察，皆有膨脹、變硬及變重的情形，市售的膨脹效果更為明顯。
2. 市售自熱包在 0.5 分鐘反應快速上升，整體溫度略高於本研究自熱包。本研究自熱包最佳配方，為鍛燒 1000°C 淡菜殼粉 75 克、鋁粉 5 克及二氧化錳 10 克，在 2.5 分鐘時，反應快速上升，4 分鐘時溫度已超過 90°C，持續至 20 分鐘時，仍可維持在 80°C。雖比市售自熱包慢約 2.5 分鐘上升至 90°C 以上，但其加熱曲線可呈現高原區，可以維持高溫，具有一定的加熱效果。
3. 本研究的淡菜殼自熱包，是以天然原料作為發熱素材，其發熱效果不亞

於市售發熱包，不僅解決廢殼堆棄所造成的環保問題，也使淡菜殼的利用更趨多元化，提昇淡菜殼的附加價值。

三、 未來進一步研究方向

在自製加熱包中，鋁粉遇水產生氫氣之問題。思考除了加入二氧化錳，是否還有其他消除氫氣的方法，查詢文獻得知亦有加入金屬氧化物的活性來消除氫氣，可嘗試做不同的配方試驗探究。

捌、 參考資料及其他

- 一、 「遇水則發…熱」--自熱包大解密(2021)。第 61 屆全國中小學科展作品。
- 二、 「殼」已再生—垃圾變黃金(2021)。第 61 屆全國中小學科展作品。
- 三、 以牡蠣殼作為自熱調理食品用自發熱源之初探(2020)。水事專訊 2020，3 月號。
- 四、 自熟可熱—自動加熱便當盒 DIY(2008)。第 48 屆全國中小學科展作品。
- 五、 氧化鈣—維基百科，自由的百科全書。2024 年 2 月 8 日。
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B0%A7%E5%8C%96%E9%88%A3>
- 六、 紫殼菜蛤—維基百科，自由的百科全書。2024 年 1 月 28 日。
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%97%8D%E8%B2%9D>
- 七、 本研究作品說明書所附圖片及圖表均為作者自行拍攝與製作。

【評語】 033003

本作品自熟「殼」熱是以淡菜殼粉作為自熱包之可行性探究，探討自製自熱包，在各式變因下自發溫度變化。另外，探討市售自熱包與本研究自熱包之發熱效果。有關淡菜殼中的碳酸鈣檢驗未見成果且經高溫電窯 2.5 小時應為 CaO 非 CaCO₃。減少 Al 粉的添加可思考如何維持高溫一段時間的方法如不同粒徑等。研究結果可整合陸討論，顯示時間控制、溫度控制、添加比例不同的時候的變化趨勢，有助於依序分析控制因子的討論說明。淡菜殼再利用的經濟影響，建議可說明研究結果的未來應用。

作品簡報



自熟「殼」熱——



以淡菜殼粉作為自熱包之可行性探究



本研究想了解利用馬祖天然的廢棄淡菜殼，回收再利用，將淡菜殼透過高溫鍛燒，研磨製成淡菜殼粉，淡菜殼中富含碳酸鈣，依不同比例，研發製作最佳比例的自熱包，並探討不同鍛燒溫度淡菜殼所製成的自熱包之溫度變化，及與市售自熱包的差異性。若能將這些廢棄的淡菜殼，變身為多元用途，不僅可解決廢殼堆棄所造成的環保問題，使淡菜殼的利用更趨多元化，同時也可提昇淡菜殼的附加價值。

壹、研究動機

淡菜是馬祖地區最主要的經濟貝類，且馬祖是全臺最大的淡菜養殖地，淡菜已然是馬祖相當有名的特色觀光產品，是遊客們餐桌上必點的美食，是遠近馳名的美味。但是隨處放置的淡菜廢棄殼不但占空間且易衍生臭味，亦會汙染環境。先前學長姐曾利用淡菜殼製作吸水杯墊、擴香產品與多肉植物盆器，而我們在理化課也剛好學到，康軒版第四冊第三章常見的酸、鹼性物質，老師介紹到氧化鈣（CaO）時，有給我們觀看生石灰加水放熱的影片，並說明自熱罐、自煮火鍋及自熱包的原理。在課本中也學到常見的鹽類，碳酸鈣（CaCO₃）是大理岩和貝殼等的主要成分，上網蒐集資料時有查詢到別人用牡蠣殼做自熱包，所以我們便想試試淡菜殼是否也可以做為自熱包的發熱來源。

貳、研究目的

- 一、以淡菜殼粉製作自熱包之可行性。
- 二、探討自製自熱包，最佳比例之溫度變化。
- 三、探討不同鍛燒溫度及不同粒徑淡菜殼所製成的自熱包之溫度變化。
- 四、探討市售自熱包與本研究自熱包之發熱效果。

參、研究設備與器材

電子秤	烘箱	研磨機	高溫電窯	篩網	鐵鎚	PP保鮮盒	鑽床	保麗龍箱	燒杯	量筒	鋁箔盒	玻璃棒
洗滴瓶	培養皿	溫度計	碼錶	溼度計	秤量紙	火柴盒	廣口瓶	錐形瓶	薊頭漏斗	橡皮管	不織布茶包袋	試管
刮勺	滴管	玻璃片	針筒	淡菜殼	氧化鈣	鋁粉	市售自熱包	鹽酸	澄清石灰水	二氧化錳	暖暖包	

肆、研究過程與方法

研究架構

自熱「殼」熱
以淡菜殼粉作為自熱包之可行性探究

文獻探討

- 了解歷屆科展作品內容
- 了解淡菜殼的成分與再生利用

實驗過程&結果

實驗一 自製自熱包之探究

- 實驗 1-1 探討氧化鈣加水的最佳比例
- 實驗 1-2 探討不同比例鋁粉與氧化鈣反應之溫度變化
- 實驗 1-3 探討不同鍛燒溫度淡菜殼所製成的自熱包之溫度變化
- 實驗 1-4 探討鍛燒1000°C淡菜殼所製成的自熱包(添加鋁粉)之溫度變化
- 實驗 1-5 探討鍛燒溫度1000°C淡菜殼所製成的自熱包(添加二氧化錳)之溫度變化
- 實驗 1-6 探討鍛燒溫度1200°C淡菜殼所製成的自熱包(添加二氧化錳)之溫度變化
- 實驗 1-7 探討鍛燒溫度1000°C淡菜殼與不同粒徑所製成的自熱包之溫度變化

實驗二 市售自熱包的探究

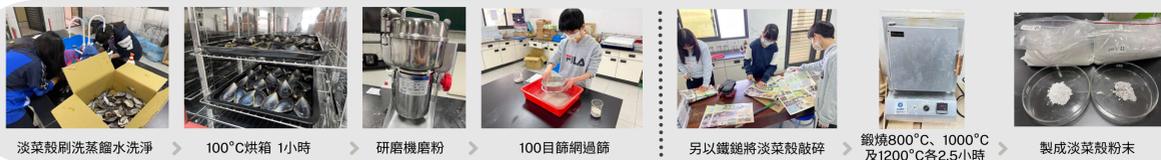
- 實驗 2-1 市售自熱包的最佳使用水量
- 實驗 2-2 市售自熱包中所含金屬粉末之確認
- 實驗 2-3 市售自熱包與本研究自熱包之發熱效果比較

文獻探討

來源	名稱	研究結果
全國中小學科展第48屆 (2008年)	自熱可熱—自動加熱便當盒 DIY	用石灰做為自熱便當的來源，設計自動加熱便當盒。
水試專訊第69期 (2020年3月)	以牡蠣殼作為自熱調理食品用自發熱源之初探	以牡蠣殼再生石灰粉的加熱效果，研發牡蠣殼自熱包。
全國中小學科展第61屆 (2021年)	「遇水則發...熱」--自熱包大解密	用石灰做為自熱便當的來源，並探討如何避免氫氣的產生。

實驗過程

01 製備淡菜殼試樣



02 淡菜殼中的碳酸鈣檢驗

檢驗淡菜殼的成分是否為碳酸鈣
以排水集氣法收集氣體



取 5 克淡菜殼粉末放入錐形瓶中
將 1M 鹽酸由薊頭漏斗上方加入 > 取點燃的火柴放入集氣瓶中 > 檢驗氣體的性質 > 氣體通入澄清石灰水觀察變化

03 測定工具及裝置設計



04 自製自熱包

查詢文獻有使用雙層不織布茶包袋
但我們測試雙層反應效果不佳
且發現粉末並不會由單層不織布的孔隙露出
故實驗以單層不織布茶包袋封裝
並將其鋪平放入鋁箔盒



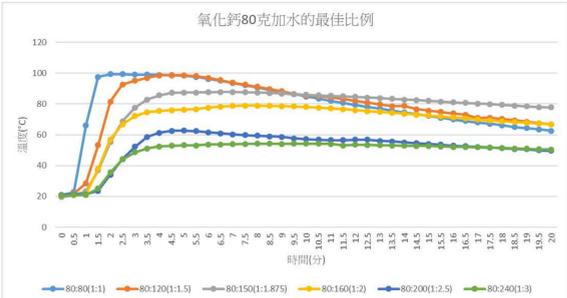
為減少誤差
重複測試三次溫度變化
取其平均值

五、研究結果與討論

【實驗一】自製自熱包之探究

實驗1-1 探討氧化鈣加水的最佳比例

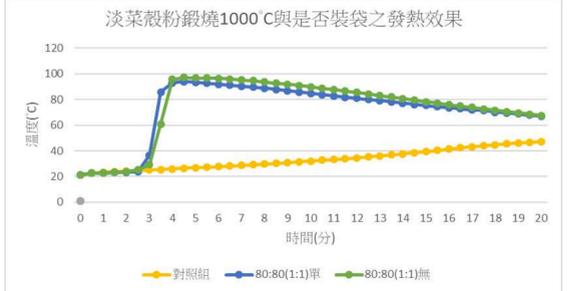
- 茶包袋內放入質量80克的氧化鈣，分別加入80、120、150、160、200及240克的水。
- 參考文獻資料，增加粉水比為80:150之組別做討論。



- 六組實驗中，氧化鈣和水的比例在1:1、1:1.5及1:1.875時，約在1.5分及1分鐘時皆有明顯的劇烈蒸氣冒出，而另三組則無劇烈蒸氣。水量80克，右側量測的最高蒸氣達100.6°C；水量120克時，右側量測的最高蒸氣達99.7°C；而水量150克時，最高蒸氣溫度為87°C。
- 根據實驗結果，氧化鈣和水的比例在1:1及1:1.5時，溫度於2分鐘內迅速上升，其中又以1:1的溫度上升較快，達到99.4°C。兩者維持在70°C以上的時間相差不多，是加熱效果較好的比例。
- 水量150克時，溫度曲線雖呈現高原區，但最高溫皆無法突破90°C。
- 加入160克、200克及240克的水無法讓加熱溫度突破80°C，且水量愈多，溫度上升愈慢。

實驗1-4 鍛燒1000°C淡菜殼所製成的自熱包(添加鋁粉)之溫度變化

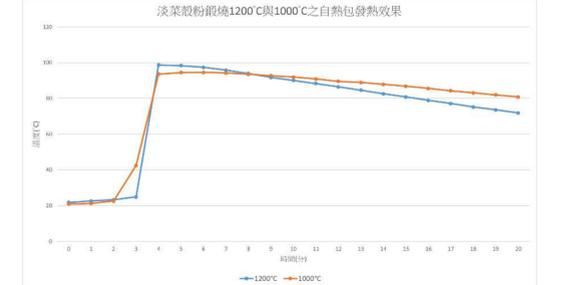
- 由實驗1-3-2淡菜殼鍛燒1000°C與不同粉水比發熱效果，找最佳比(80:80)，淡菜殼粉與水為1:1，作為對照組。
- 兩組添加5克鋁粉，一組以不織布茶包袋包裝，另一組直接放置於鋁箔盒，觀察比較有無差異。



- 添加5克鋁粉單層茶包袋自熱包，於3分鐘後開始快速陡升，在4.5分鐘時達到93.9°C。添加5克鋁粉無裝袋自熱包，在4.5分鐘時達到97.2°C。
- 添加鋁粉的兩組皆於3分鐘時，大量冒劇烈蒸氣。
- 添加5克鋁粉的淡菜殼單層不織布茶包袋自熱包，維持在70°C以上的時間可達14分鐘。
- 單層不織布組與無裝袋組，兩者加熱曲線差異不大，無裝袋的溫度稍高於單層不織布組。
- 添加鋁粉，可以大幅改變加熱曲線(與對照組相比)，讓溫度明顯上升。

實驗1-6 探討鍛燒溫度1200°C淡菜殼所製成的自熱包(添加二氧化錳)之溫度變化

- 由實驗1-5-1鍛燒1000°C淡菜殼所製成的自熱包(添加5克鋁粉及10克二氧化錳)，粉與水比例為1:1，作為對照組。
- 測量高溫區間(90°C以上)，每隔1分鐘以針筒抽取蒸氣，並用燃燒的火柴檢驗，連續測8次。



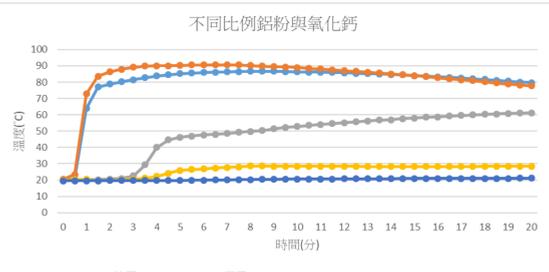
- 鍛燒1200°C的淡菜殼粉，於4至8分鐘時溫度稍高於鍛燒1000°C的淡菜殼粉，但於8分鐘後溫度下降低於1000°C的淡菜殼粉。
- 高溫區間(90°C以上)，每隔1分鐘以針筒抽取蒸氣，並用燃燒的火柴檢驗，連續測8次。結果如下表：

次數	1	2	3	4	5	6	7	8
分鐘數	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5
1200°C	有	有	無	有(變小塊)	有(變小塊)	無	無	無

實驗1-2 探討不同比例鋁粉與氧化鈣反應之溫度變化



- 茶包袋內分別放入5、10、15及20克的氧化鈣，製作總質量80克的自製自熱包，加入相同重量120克的水。
- 單層不織布封裝的自熱包，觀察到有破裂現象(左圖)，故增加雙層不織布茶包袋(右圖)實驗做討論。

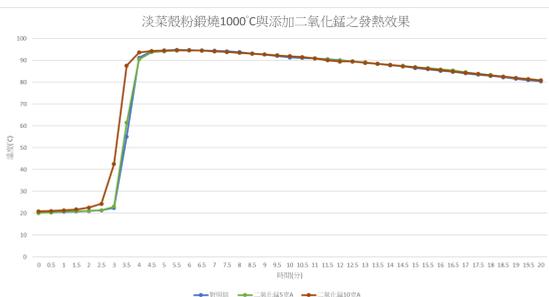


- 加入5克鋁粉，溫度在2分鐘內快速上升，且在30秒時有劇烈蒸氣噴出。
- 單層的不織布茶包袋有破裂情況，上升溫度較雙層不織布茶包袋的高，可達到90.6°C，最高量測蒸氣溫度為93.7°C。雙層的最高溫度為86.6°C，最高量測蒸氣溫度為87.1°C，然兩者溫度變化曲線大致相同。
- 加入10克的鋁粉，溫度在3分鐘後緩慢上升，20分鐘僅達61.3°C；加入的鋁粉愈多，愈無法讓溫度上升，且10克、15克及20克鋁粉，三組實驗中皆無蒸氣噴出。

實驗1-5 探討鍛燒溫度1000°C淡菜殼所製成的自熱包(添加二氧化錳)之溫度變化

實驗1-5-1 淡菜殼鍛燒1000°C與添加二氧化錳之發熱效果

- 由實驗1-4鍛燒1000°C淡菜殼所製成的自熱包(添加鋁粉)，粉與水比例為1:1，其中有添加5克鋁粉，作為對照組。兩組分別添加5克與10克二氧化錳。
- 測量高溫區間(90°C以上)，每隔1分鐘以針筒抽取蒸氣，並用燃燒的火柴檢驗，連續測8次。



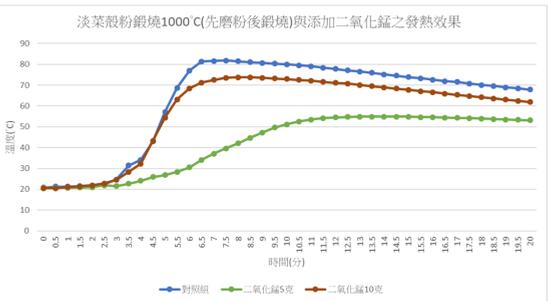
- 添加5克二氧化錳與對照組的加熱曲線，大致相同。三組皆於3分鐘時，大量冒劇烈蒸氣。
- 添加10克二氧化錳，溫度上升的時間早於另外兩組，4分鐘以後的溫度曲線，也幾乎與另外兩組相同。
- 三組最高溫皆可達到94°C，且在4分鐘開始溫度維持在90°C高溫以上的時間可持續至11.5及12分鐘。直至20分鐘時，溫度仍在80°C。
- 高溫區間(90°C以上)，每隔1分鐘以針筒抽取蒸氣，並用燃燒的火柴檢驗，連續測8次。結果如下表：

次數	1	2	3	4	5	6	7	8
分鐘數	4	5	6	7	8	9	10	11
對照組	有	有	有	有	有	有	有	有
5克	有	有	有(變小塊)	有	有	有(變小塊)	有	有
10克	有	有	有(變小塊)	無	無	無	無	無

實驗1-5-2 淡菜殼鍛燒1000°C(先磨粉後鍛燒)與添加二氧化錳之發熱效果



- 起初沒有窯烤電爐等設備，我們原先在製備淡菜殼試樣時，是先磨粉後再用卡式爐鍛燒，但實驗後發現卡式爐溫度不夠高，僅三四百度。後續借到窯烤電爐設備，便將原先的粉末也拿去鍛燒。
- 想瞭解先磨粉後鍛燒(右圖)與先鍛燒後磨粉(左圖)是否有差異，故重複實驗1-5-1步驟。



- 先磨粉後鍛燒的淡菜殼粉，溫度上升較緩慢，僅對照組最高溫超過80°C。
- 另兩組添加二氧化錳，溫度皆低於對照組，且添加5克二氧化錳比添加10克二氧化錳，溫度上升變化更不明顯。

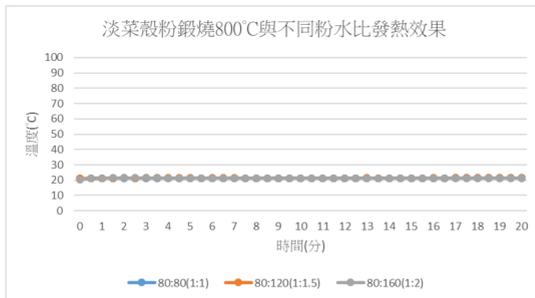
實驗1-3 探討不同鍛燒溫度淡菜殼所製成的自熱包之溫度變化



- 將淡菜殼(碳酸鈣)以高溫鍛燒，以去除二氧化碳，使成為氧化鈣。 $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
- 由左至右為氧化鈣、鍛燒800°C、1000°C及1200°C淡菜殼粉。

實驗1-3-1 淡菜殼鍛燒800°C與不同粉水比發熱效果

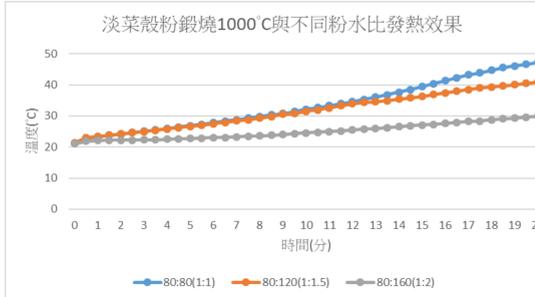
- 將茶包袋內放入鍛燒800°C的淡菜殼粉80克，分別加入80、120及160克的水。



- 根據實驗結果，鍛燒800°C的淡菜殼粉，幾乎無法讓水溫上升。

實驗1-3-2 淡菜殼鍛燒1000°C與不同粉水比發熱效果

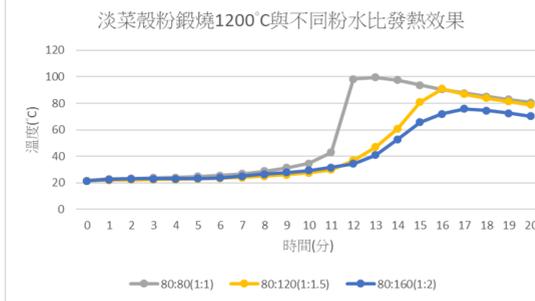
- 將茶包袋內放入鍛燒1000°C的淡菜殼粉80克，分別加入80、120及160克的水。



- 鍛燒1000°C的淡菜殼粉，三組溫度皆緩慢上升，其中以1:1的比例，溫度上升較明顯，反應20分鐘時，溫度上升至47.2°C。
- 水量愈多，溫度上升愈不明顯。

實驗1-3-3 淡菜殼鍛燒1200°C與不同粉水比發熱效果

- 將茶包袋內放入鍛燒1200°C的淡菜殼粉80克，分別加入80、120及160克的水。

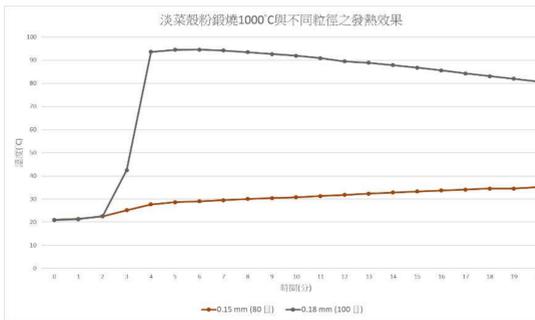


- 鍛燒1200°C的淡菜殼粉，其中以1:1的比例，溫度上升較明顯，反應12分鐘時，溫度上升至98.4°C，且至20分鐘時仍可維持於80.6°C。
- 水量愈多，溫度上升愈慢且愈不明顯。

實驗1-7 探討鍛燒溫度1000°C淡菜殼與不同粒徑所製成的自熱包之溫度變化



- 分別以80及100目之篩網分離，比較不同粒徑大小0.15 mm (80目)、0.18 mm (100目)之發熱變化。
- 0.15 mm (80目)粒徑自熱包與水反應後(如左圖)，0.18 mm (100目)自熱包與水反應後(如右圖)。



- 根據實驗結果，兩種不同粒徑的淡菜殼粉，0.15 mm (80目)粒徑自熱包幾乎無法讓溫度上升，20分鐘僅上升至約35°C，且自熱包無明顯膨脹變硬的情形。

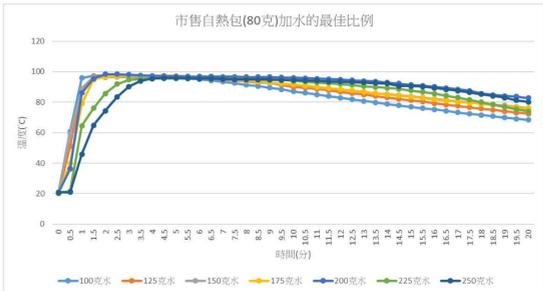
【實驗二】市售自熱包的探究



- 市售自熱包，通常未告知加水量，容器雖有標示注水線，但同樣容器，對比不同質量的自熱包，應有不同的添加水量。

實驗2-1-1 市售自熱包(80克)加水的最佳比例

- 將質量80克的市售自熱包，分別加入100、125、150、175、200、225及250克的水。

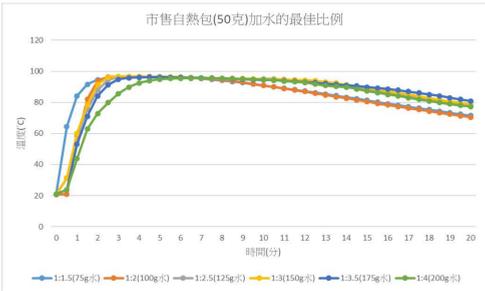


- 水量較少的五組，在2分鐘內溫度陡升情況較明顯，在5分鐘之後整體有下降的趨勢，又以水量最少的，下降最低。
- 七組溫度皆可達96°C，且各組的最高蒸氣溫度也都達96°C以上。水量較多的兩組，維持在高溫80°C以上的時間也較久。
- 以200克水組之發熱效果最佳，量測到的最高蒸氣溫度也最高為98.4°C。

實驗2-1 市售自熱包的最佳使用水量

實驗2-1-2 市售自熱包(50克)加水的最佳比例

- 將質量50克的市售自熱包，分別加入75、100、125、150、175及200克的水。



- 水量最少的1:1.5，在1分鐘內溫度陡升情況較明顯，水量少的兩組，在7分鐘之後整體有下降的趨勢。
- 六組溫度皆可達96°C，且各組的最高蒸氣溫度也都達95°C以上。水量較多的四組，維持在高溫80°C以上的時間也較久。
- 以125及150克水組之發熱效果最佳，量測蒸氣溫度也最高約為97°C。

實驗2-1-3 市售自熱包(30克)加水的最佳比例

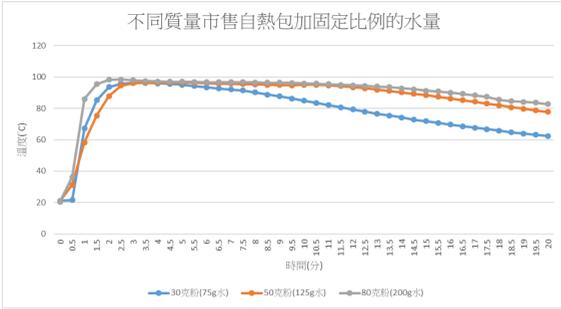
- 將質量30克的市售自熱包，分別加入45、60、75、90、105及120克的水。



- 水量較少的，在1.5分鐘內溫度陡升情況較明顯，在5分鐘之後整體有下降的趨勢，又以水量最少的，溫度下降最低。
- 水量最少的三組，最高溫可達96°C，隨著水量增加，最高溫也逐漸降低，但相對維持在高溫的時間也較久。各組最高蒸氣溫度也都達95°C以上。
- 以75克水組之發熱效果最佳，量測蒸氣溫度也最高為96.4°C。

實驗2-1 市售自熱包的最佳使用水量

實驗2-1-4 市售自熱包同質量加固定比例的水

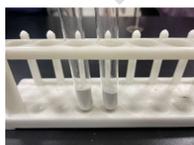


- 將質量30克、50克及80克的自熱包，挑選最佳粉水比1：2.5，數據作圖後，可發現最高溫及蒸氣溫度皆相差不多。
- 質量愈大的自熱包，溫度於2分鐘內上升愈快，維持高溫的時間亦較久。質量愈小的自熱包，溫度下降較快，較不易維持溫度。

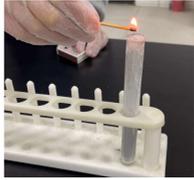
實驗2-2 市售自熱包中所含金屬粉末之確認



觀察粉末：市售自熱包粉末色較深(左)，氧化鈣顏色較白(右)。

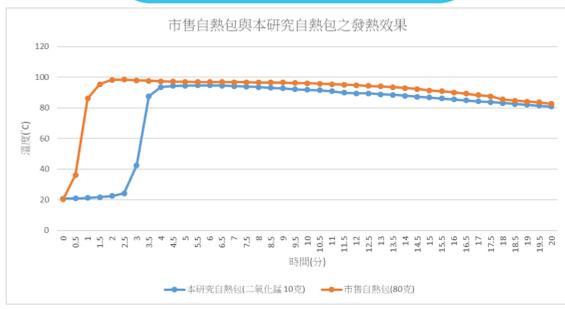


取5克市售自熱包粉末及5克氧化鈣粉末裝入試管，將3M鹽酸滴入，氧化鈣試管無反應，市售自熱包試管大量冒氣泡。



以點燃的火柴測試，試管口有明顯的爆鳴聲。

實驗2-3 市售自熱包與本研究自熱包之發熱效果比較



- 市售自熱包80克，最佳水量為200克，在0.5分鐘反應快速上升，2分鐘時溫度已超過90°C。
- 本研究自熱包最佳配方，為鍛燒1000°C淡菜殼粉75克、鋁粉5克及二氧化錳10克，加入80克水。在2.5分鐘時，反應快速上升，4分鐘時溫度已超過90°C，持續至20分鐘時，仍可維持在80°C。
- 市售自熱包與水反應後(左圖)，本研究自熱包與水反應後(右圖)。冷卻觀察，皆有膨脹、變硬及變重的情形。



陸、結論

一、【實驗一】自製自熱包之探究

(一) 實驗1-1探討氧化鈣加水的最佳比例

- 自熱包的主要成分為氧化鈣，氧化鈣與水反應，會放出大量的熱。
$$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + \text{熱量}$$
- 氧化鈣加水後幾乎不溶解，起初溫度上升幅度不大，氧化鈣和水的比例在1：1及1：1.5時，溫度於兩分鐘內快速上升，其中又以1：1的溫度上升較快，但1：1.5整體溫度高於1：1，兩者維持在70°C以上的時間差不多，是加熱效果較好比例。
- 粉水比為8：15時，溫度曲線雖呈較一致的高原區，但最高溫皆無法突破90°C。

(三) 實驗1-3探討不同鍛燒溫度淡菜殼所製成的自熱包之溫度變化

- 實驗前先以稀鹽酸檢驗淡菜殼是否含有碳酸鈣，以排水集氣法收集氣體，並以澄清石灰水及火柴檢驗氣體，證明成分為碳酸鈣。將碳酸鈣以高溫鍛燒，以去除二氧化碳，使成為氧化鈣。發現淡菜殼鍛燒越久，顏色愈白，顏色與氧化鈣(生石灰)粉末較接近。
- 鍛燒800°C的淡菜殼粉，幾乎無法讓水溫上升，推測可能因煨燒溫度不夠高，導致淡菜殼中碳酸鈣未完全轉化成氧化鈣，而影響發熱效果。1.煨燒溫度1000°C及1200°C組，在1：1、1：1.5、1：2三個粉水比中，以1：1組之發熱效果最佳，但1000°C組反應20分鐘時，溫度也僅上升至47.2°C。三組中，以煨燒1200°C組的反應最佳，推測鍛燒時間越久，所得氧化鈣純度越高。

(五) 實驗 1-5 探討鍛燒溫度 1000°C淡菜殼所製成的自熱包(添加二氧化錳)之溫度變化

- 由實驗 1-4 產生化學反應及發熱，會釋出易燃的氫氣，自熱包在使用上會有安全上的疑慮。查詢文獻，參考全國科展第61屆「遇水則發·熱」自熱包大解密報告，顯示將5克二氧化錳加入自製自熱包，可以部份消除氫氣。故我們在實驗1-5-1，分別添加5克與10克二氧化錳至自製淡菜殼粉自熱包中，發現添加10克二氧化錳組，溫度上升的時間早於5克及對照組，4分鐘以後的溫度曲線，也幾乎與另兩組相同。亦即添加少量的二氧化錳，不會影響加熱效果，且添加10克二氧化錳組效果優於另兩組。
- 高溫區間(90°C以上)，每隔1分鐘以針筒抽取蒸氣，並用燃燒的火柴檢驗氫氣。對照組的8次，皆有響亮的爆鳴聲。5克二氧化錳組，8次有3次較小聲。10克二氧化錳組，8次中的前三次有爆鳴聲，後5次無爆鳴聲。顯示加入10克二氧化錳確實有效降低部分氫氣的產生。
- 而實驗1-5-2先磨粉後鍛燒的淡菜殼粉，溫度上升較緩慢，僅對照組最高溫超過80°C。粉末顏色也比先鍛燒後磨粉的淡菜殼粉，來的較深一些，推測應是大量的粉末堆疊在碗中，可能碳酸鈣未完全轉化成氧化鈣，導致加熱效果不佳。而實驗1-5-1為先鍛燒後磨粉，是殼跟殼的堆疊放置，鍛燒所得氧化鈣純度較高。

(二) 實驗1-2探討不同比例鋁粉與氧化鈣反應之溫度變化

- 僅以氧化鈣與水反應時，雖可讓水溫上升與產生高溫蒸氣，但隨著反應時間，溫度亦逐漸下降，無法呈現高原區，加熱效果有限。參考文獻自熱包的成分除氧化鈣外，通常會加入鋁粉。
- 研究發現加入少量5克的鋁粉，可讓溫度曲線呈現高原區。但加入的鋁粉愈多，反而愈無法讓溫度上升。

(四) 實驗1-4探討鍛燒1000°C淡菜殼所製成的自熱包(添加鋁粉)之溫度變化

- 查詢文獻資料，為了讓溫度升高，自熱包會添加鋁粉，由反應式得知鋁粉易發生氧化，會產生氫氣，並放出熱量。氧化鈣(生石灰)反應所產生的氫氧化鈣(熟石灰)，可以接續和鋁粉持續作用，並持續放出熱量。
$$4\text{Al} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3$$

$$2\text{Al} + \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{Ca(OH)}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Ca(AlO}_2)_2 + 3\text{H}_2 + \text{熱量}$$
- 添加5克鋁粉的自製自熱包，於3分鐘後開始快速陡升，在4.5分鐘時達到93.9°C，且維持在70°C以上的時間可達14分鐘。
- 由實驗發現添加鋁粉，可以大幅改變其加熱曲線(與對照組相比)，讓溫度明顯上升。
- 無裝袋組溫度稍高於單層不織布組，但兩者加熱曲線差異不大，顯示本實驗用之單層包材，不致於影響自製自熱包的加熱曲線。

(六) 實驗1-6探討鍛燒溫度1200°C淡菜殼所製成的自熱包(添加二氧化錳)之溫度變化

鍛燒1000°C的淡菜殼粉，溫度上升早於1200°C；鍛燒1200°C的淡菜殼粉於4至8分鐘時溫度稍高於鍛燒1000°C的淡菜殼粉，但於8分鐘後溫度降低於1000°C的淡菜殼粉；鍛燒1000°C的淡菜殼粉，在3.5分鐘時達到87.6°C，且持續至20分中時溫度皆可維持在80°C以上。

(七) 實驗1-7探討鍛燒溫度1000°C淡菜殼與不同粒徑所製成的自熱包之溫度變化

分析兩種不同粒徑，0.15 mm (80目)與0.18 mm (100目)淡菜殼粉發熱效果，發現0.18 mm (100目)溫度上升明顯，而0.15 mm (80目)粒徑自熱包幾乎無法讓溫度上升，20分鐘僅上升至35°C，且自熱包無明顯膨脹變硬情形。亦即淡菜殼粉粒徑越小，其表面積越大，反應速率越快。

二、【實驗二】市售自熱包的探究

(一) 實驗 2-1 市售自熱包的最佳使用水量

- 市售自熱包，通常未告知消費者確切的加水量，同樣的容器，雖有標示注水線，但對比不同質量的自熱包，應有不同的水量。
- 市售自熱包80克，以200克水組之發熱效果最佳，量測到的最高蒸氣溫度為98.4°C。市售自熱包50克，以125克水及150克水組之發熱效果最佳，量測到的最高蒸氣溫度約為97°C。市售自熱包30克，以75克水組之發熱效果最佳，量測到的最高蒸氣溫度最高為96.4°C。
- 可以發現市售自熱包的最佳粉水比，大約為1：2.5，且總質量愈大，維持高溫的時間亦較久。

(二) 實驗 2-2 市售自熱包中所含金屬粉末之確認

查詢文獻得知，市售自熱包大致都含有鋁粉，故將鹽酸滴入試管後，氧化鈣(生石灰)對照組試管無反應，而市售自熱包試管大量冒氣泡。並以點燃的火柴測試，試管口有明顯的爆鳴聲，可推測其為可燃的氫氣。

(三) 實驗 2-3 市售自熱包與本研究自熱包之發熱效果比較

- 不論是市售自熱包還是本研究自熱包，兩者與水反應後，待冷卻觀察，皆有膨脹、變硬及變重的情形，市售的膨脹效果更為明顯。
- 市售自熱包在0.5分鐘反應快速上升，整體溫度略高於本研究自熱包。本研究自熱包最佳配方，為鍛燒1000°C淡菜殼粉75克、鋁粉5克及二氧化錳10克，在2.5分鐘時，反應快速上升，4分鐘時溫度已超過90°C，持續至20分鐘時，仍可維持在80°C。雖比市售自熱包慢約2.5分鐘上升至90°C以上，但其加熱曲線可呈現高原區，可以維持高溫，具有一定的加熱效果。
- 本研究的淡菜殼自熱包，是以天然原料作為發熱素材，其發熱效果不亞於市售發熱包，不僅解決廢殼堆棄所造成的環保問題，也使淡菜殼的利用更趨多元化，提昇淡菜殼的附加價值。

三、未來進一步研究方向

在自製加熱包中，鋁粉遇水產生氫氣之問題。思考除了加入二氧化錳，是否還有其他消除氫氣的方法，查詢文獻得知亦有加入金屬氧化物的活性來消除氫氣，可嘗試做不同的配方試驗探究。

柒、參考資料及其他

- 「遇水則發·熱」--自熱包大解密(2021)。第 61 屆全國中小學科展作品。
- 「殼」已再生—垃圾變黃金(2021)。第 61 屆全國中小學科展作品。
- 以牡蠣殼作為自熱調理食品用自發熱源之初探(2020)。水專訊 2020，3月號。
- 自熱可熱—自動加熱便當盒 DIY(2008)。第 48 屆全國中小學科展作品。
- 氧化鈣—維基百科，自由的百科全書。2024 年 2 月 8 日。<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B0%A7%E5%8C%96%E9%88%A3>
- 紫殼菜蛤—維基百科，自由的百科全書。2024 年 1 月 28 日。<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%97%8D%E8%B2%9D>
- 本研究作品海報所附圖片及圖表均為作者自行拍攝與製作。