

2025年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

國中組 成果報告表單

題目名稱：「鐵心發熱」探討暖暖包發熱的效能

一、摘要

本研究旨在比較兩款市售暖暖包(小白兔與小米兔)的發熱效能, 透過化學分析觀察其鐵粉氧化程度與鐵離子生成量之變化。研究建立了亞鐵離子(Fe^{2+})與鐵離子(Fe^{3+})的測定流程, 分別以高錳酸鉀滴定法與水楊酸比色法進行定量。實驗設計包含不同比例與反應時間之樣本處理, 並透過自製光學儀器以綠光雷射測量溶液對光線穿透度的變化, 進一步分析紫色深淺反映之 Fe^{3+} 濃度。結果顯示, 小白兔暖暖包在相同反應時間內鐵粉消耗較快、 Fe^{3+} 生成量較多, 顯示其發熱反應更為旺盛, 支持小白兔發熱效能優於小米兔的假設。該研究不僅建立了一套有效比較暖暖包發熱性能的實驗流程, 也為市售產品之消費選擇提供了理性依據。

二、探究題目與動機

市面上各種暖暖包琳瑯滿目, 外觀相似、價格接近, 但實際使用時卻常發現發熱效果差異甚大。過去我們使用暖暖包時曾遇到「加熱效果不明顯」或「維持時間不夠久」的情況, 因此產生了疑問: 為什麼同樣是暖暖包, 有的比較熱, 有的卻不夠熱? 這樣的差異是來自鐵粉含量、成分配比, 還是其他隱藏因素?

有鑑於此, 我們決定從科學角度出發, 以暖暖包氧化過程中剩餘物質-鐵粉及鐵離子作為觀察重點, 結合高錳酸鉀滴定法與水楊酸比色法, 深入比較不同品牌暖暖包的發熱效能。希望透過實驗找出暖暖包加熱背後的真實機制, 並建立一套可用來量化比較發熱效果的科學方法, 讓大家在選購時有更科學的依據。

三、探究目的與假設

(一)、探究目的:

1. 建立本研究亞鐵離子的標準定量流程。
2. 建立本研究鐵離子的標準定量流程。
3. 探討暖暖包的時間樣本中鐵離子及亞鐵離子隨時間的含量變化趨勢來了解品牌特性。

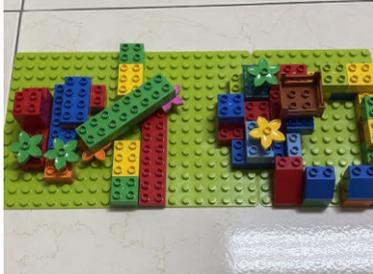
(二)、探究假設:

1. 暖暖包發熱時間越長, 剩餘的鐵粉越少(假設)。
2. 暖暖包發熱時間越長, 產生的鐵離子越多(假設)。
3. 小白兔暖暖包的發熱效能 > 小米兔暖暖包的發熱效能(假設)。

四、探究方法與驗證步驟

(一)研究設備與器材

1.電子秤	2.漏斗	3.刮勺	4.微量吸管	5.小瓶子	6.定量瓶	7.試紙
8.水平儀	9.照度計	10.積木	11.滴定管	12.燒杯	13.錐形瓶	14.試管



(二)實驗方法

我使用水楊酸監控暖暖包在發熱時所產生的鐵離子量隨時間變化。水楊酸跟鐵離子會變成紫色，所以紫色越深，鐵離子越多。暖暖包的發熱過程中，遇到鹽酸會產生亞鐵離子，亞鐵離子越多，就需要更多高錳酸鉀來滴定。實驗發現，隨著暖暖包的發熱時間越長，此時的内容物被鹽酸溶解後所產生的水溶液，當中的二價鐵離子和三價鐵離子，前者會隨時間減少，後者會隨時間增加。只要偵測曲線變化，就可以了解不同暖暖包真實的發熱情況。

(三)實驗步驟

1、製作暖暖包樣本

(1)、未開封暖暖包樣本溶液準備：

- 1.先將未開封的暖暖包拆開後並且秤1.0 g的暖暖包粉末。
- 2.再將暖暖包粉末加入5 mL的鹽酸溶解。
- 3.再將暖暖包鹽酸溶液過濾，過濾後的暖暖包水溶液會呈現極淡綠色，表示此杯含有 Fe^{2+} 離子。方程式為 $Fe+2HCl \rightarrow Fe^{2+}+H_2+2Cl^-$

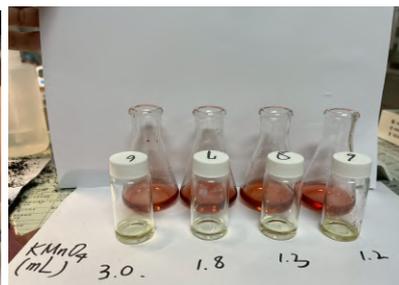
(2)、已開封暖暖包樣本溶液準備：

- 1.拿取一包開封後且不再發熱的暖暖包取1.0 g的暖暖包粉末。
- 2.並且加入5 mL的鹽酸溶解後用濾紙過濾。過濾後暖暖包容液的顏色會呈現金黃色，並且含有鐵離子 Fe^{3+} 。 $Fe_2O_3+6HCl \rightarrow 2Fe^{3+}+3H_2O+6Cl^-$



2、建立 $KMnO_4$ 氧化還原滴定 Fe^{2+} 步驟

- 1.取0.2 mL的亞鐵離子水溶液和10 mL的蒸餾水並加入並加入錐形瓶。
- 2.以市售高錳酸鉀(濃度固定)滴定直到變為橘紅色。
- 3.紀錄高錳酸鉀的滴定消耗量。



3、製作「水楊酸酚鐵」紫色樣本

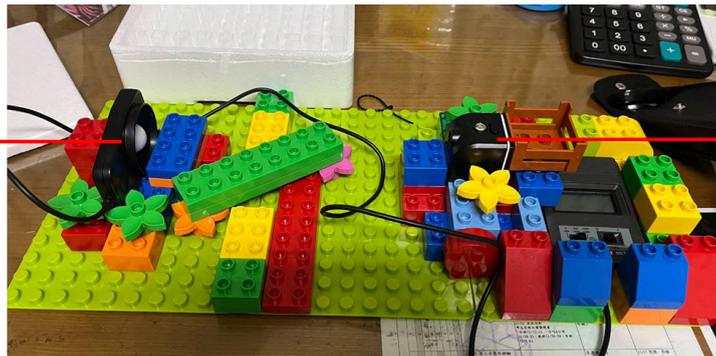
- 1.取少許的水楊酸並且加入適當的水，製成標準水楊酸飽和溶液(大約0.2%)，並且讓水楊酸溶液達到飽和。
- 2.水楊酸標準水溶液可以檢測我們剛剛做的暖暖包樣本中是否含有鐵離子。
- 3.若含有鐵離子，暖暖包水溶液加入水楊酸後會呈現紫色；若無鐵離子，則會呈現淺色甚至無色；若水溶液中鐵離子越多，紫色越深。



4、架設自製光學儀器及建立光學偵測的紫色顏色深淺的SOP

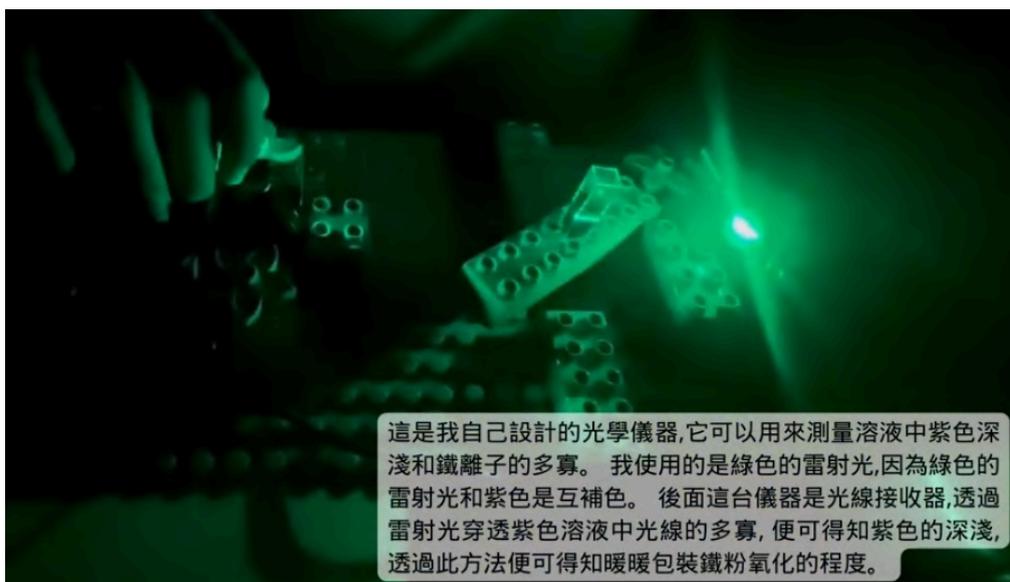
- 1.可以用來測量溶液中紫色的深淺進而推論暖暖包氧化產生的鐵離子多寡。
- 2.是因為紫光 and 綠光是互補色光，使用綠色雷射光來偵測紫色溶液的深淺，可以提升實驗的靈敏度。
- 3.儀器末端是光線接收器，透過測量雷射光穿透紫色溶液的光線多寡，便可得知紫色的深淺，透過此方法可量化暖暖包中鐵粉氧化的程度。

雷射光源
(水平儀)



光線接收器
(照度計)

【圖】自製光學裝置測量



這是我自己設計的光學儀器，它可以用來測量溶液中紫色深淺和鐵離子的多寡。我使用的是綠色的雷射光，因為綠色的雷射光和紫色是互補色。後面這台儀器是光線接收器，透過雷射光穿透紫色溶液中光線的多寡，便可得知紫色的深淺，透過此方法便可得知暖暖包裝鐵粉氧化的程度。

【圖】在暗室中測量紫色溶液樣本的颜色深淺

五、實驗結果

(一)、小白兔的暖暖包數據：



實驗一：探討放熱過程 鐵粉中Fe的剩餘量

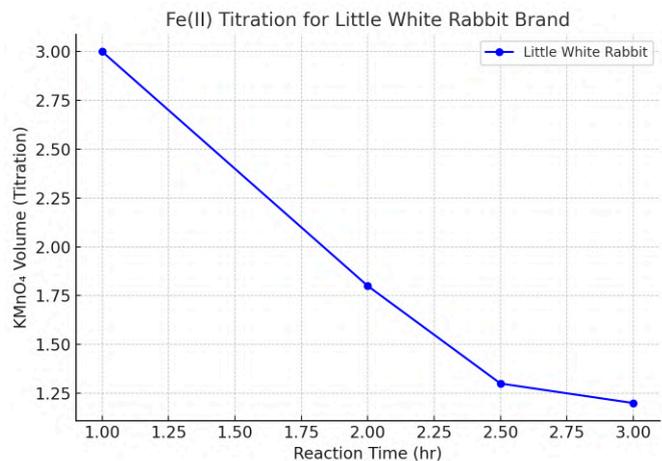
(實驗將剩餘的Fe都轉成 Fe^{2+} 來測量)

反應系統：不同反應時間的暖暖包粉1.0 g經5 mL市售鹽酸(約3M)溶出的 Fe^{2+} 樣本取0.5 mL+10 mL蒸餾水稀釋使其無色+市售濃度 KMnO_4 若干。

操縱變因：暖暖包的反應時間。

控制變因：蒸餾水的量、暖暖包的克數、鹽酸使用量、暖暖包種類(小白兔)。

應變變因：滴到變紫色所消耗的 KMnO_4 的的量。



【圖】小白兔暖暖包隨時間消耗Fe後分析樣本 Fe^{2+} 的剩餘量

實驗二：探討放熱過程 鐵粉被氧化成 Fe_2O_3 的生成量

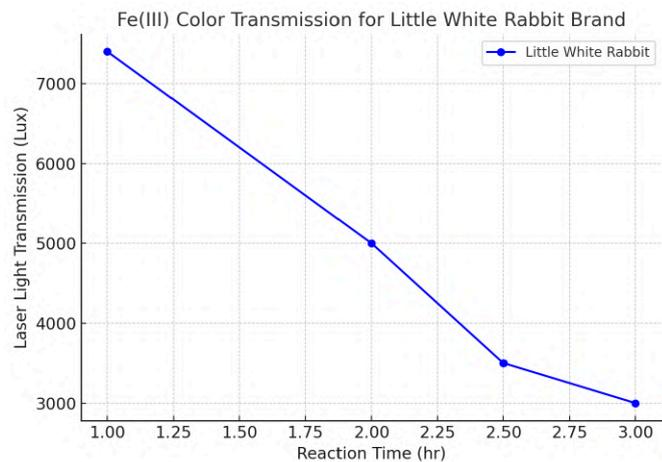
(實驗將產生的 Fe_2O_3 都轉成 Fe^{3+} 來測量)

反應系統：不同反應時間的暖暖包粉1.0 g經5 mL市售鹽酸(約3M)溶出的 Fe^{3+} ，並取1 mL Fe^{3+} 和5 mL 飽和水楊酸和5 mL蒸餾水製成 Fe^{3+} 水楊酸溶液。

操縱變因：暖暖包的反應時間。

控制變因：蒸餾水的量、暖暖包克數、鹽酸使用量、水楊酸的量、暖暖包種類(小白兔)。

應變變因：儀器測量 Fe^{3+} 水楊酸溶液顏色的深淺。



【圖】小白兔暖暖包隨時間產生 Fe^{3+} 分析樣本的颜色穿透度(綠光穿透度越低，紫色越深)

(二)、小米兔的暖暖包數據：



實驗三：探討放熱過程 鐵粉中Fe的剩餘量

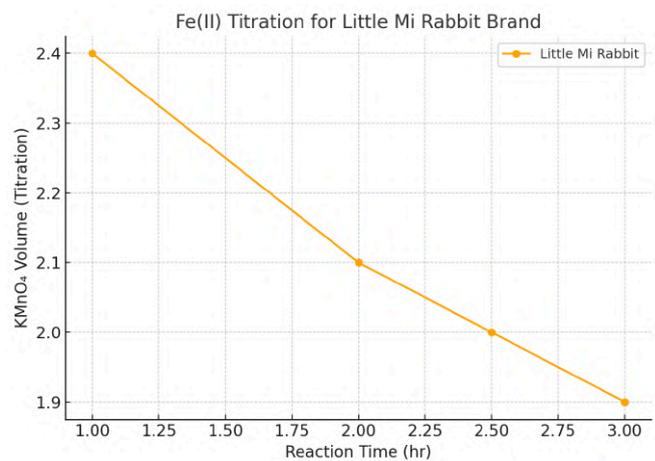
(實驗將剩餘的Fe都轉成Fe²⁺來測量)

反應系統：不同反應時間的暖暖包粉1.0 g經5 mL市售鹽酸(約3M)溶出的Fe²⁺樣本取0.5 mL+10 mL蒸餾水稀釋使其無色+市售濃度KMnO₄若干。

操縱變因：暖暖包的發熱反應時間。

控制變因：蒸餾水的量、暖暖包的克數、鹽酸使用量、暖暖包種類(肥白兔)。

應變變因：滴到變紫色所消耗的KMnO₄的的量。



【圖】小米兔暖暖包隨時間消耗Fe後分析樣本Fe²⁺的剩餘量

實驗四：探討放熱過程 鐵粉被氧化成Fe₂O₃的生成量

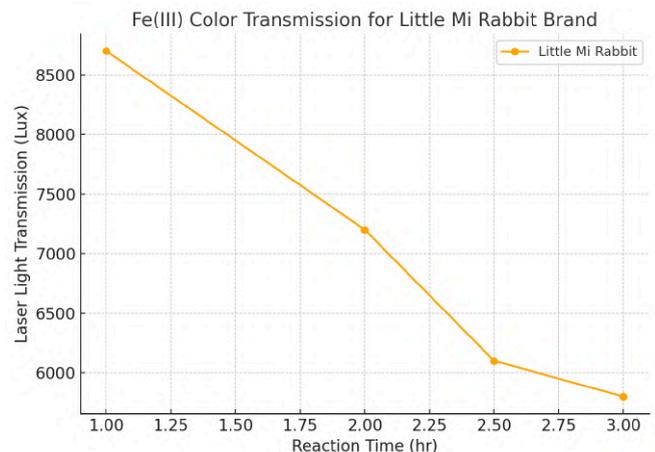
(實驗將產生的Fe₂O₃都轉成Fe³⁺來測量)

反應系統：不同反應時間的暖暖包粉1.0 g經5 mL市售鹽酸(約3M)溶出的Fe³⁺，並取1 mL Fe³⁺和5 mL飽和水楊酸和5 mL蒸餾水製成Fe³⁺水楊酸溶液。

操縱變因：暖暖包的發熱反應時間。

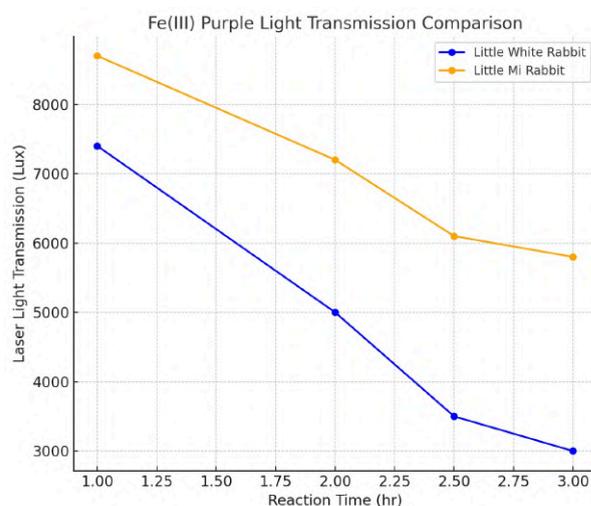
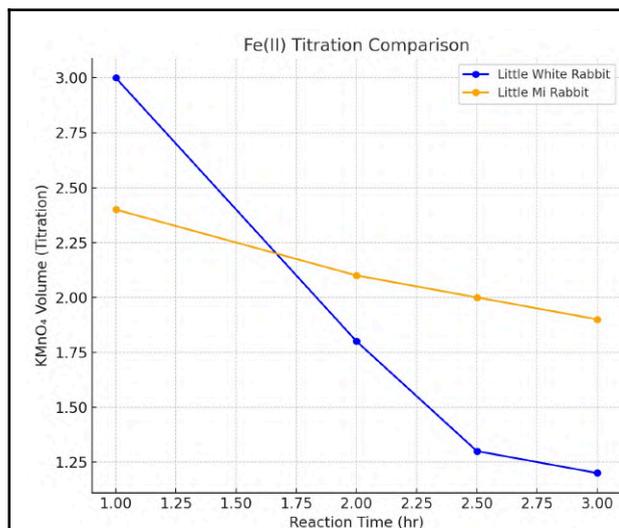
控制變因：蒸餾水的量、暖暖包克數、鹽酸使用量、水楊酸的量、暖暖包種類(肥白兔)。

應變變因：儀器測量Fe³⁺水楊酸溶液顏色的深淺。



【圖】小米兔暖暖包隨時間產生Fe³⁺分析樣本的顏色穿透度(綠光穿透度越低，紫色越深)

六、實驗討論



【圖】不同暖暖包隨時間產生 Fe^{3+} 分析樣本的颜色穿透度

【圖】不同暖暖包隨時間消耗 Fe 後分析樣本(Fe^{2+})的剩餘量

結果說明：

從這張圖可以得知

- 1.小米兔消耗鐵粉的速率比較慢
- 2.而小白兔除了消耗鐵粉的速率比較快之外暖暖包中的鐵粉量也比較多

結果說明：

從這張圖可以得知

- 1.小米兔產生氧化鐵的速率較慢
- 2.而小白兔除了產生氧化鐵的速率比較快之外產生氧化鐵的量也比較多。
(因為紫色溶液的光線穿透量較低，且隨時間下降的幅度也比較大)

七、結論與生活應用

(一)、結論

- 1.利用一系列實驗證明假說：小白兔暖暖包的發熱效果確實比小米兔好。
- 2.可以解釋市面上小白兔暖暖包賣比較好是合理的。

(二)、生活應用

利用此實驗的技巧可以比較更多暖暖包的效果。

八、參考資料

- 1.曾家瑋、陳盈君(2008)。自製環保暖暖包保暖效果的研究。第48屆中小學科學展覽會作品。
- 2.賴亭妤、林雨庭(2009)。哇 Hot Hot~~小暖包——暖暖包的秘密。第49屆中小學科展作品。