

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 化學科

佳作

080214

變色杯的祕密～感溫變色材料的研究與應用

學校名稱：臺中市西屯區上安國民小學

作者： 小六 林昀葶 小六 劉家佐 小六 楊喬安 小六 邱浩恩 小六 黃茵琦	指導老師： 蘇子傑 陳華玲
---	-------------------------

關鍵詞：變色杯、感溫粉、顏色

摘要

本研究來自於對便利商店兌換贈品～「阿朗基變色杯」的好奇，欲探究變色杯變色的機制與原因。研究透過資料蒐集，發現變色杯原理為感溫變色材料之應用，故針對各類變色杯及感溫變色微膠囊粉末的變色狀況、時間、溫度範圍進行實驗，了解變色杯的變色機制為感溫粉達特定溫度以上褪色的反應。研究進一步利用各色感溫粉的混色，及與顏料的混合，形成包含「新顏色感溫粉、二階段變色感溫粉、長範圍變色溫度感溫粉」等成果，使感溫粉變色應用更為多元。研究最後嘗試以各類溶劑混合感溫粉形成塗料，並探討在各類材質附著面的附著情形，發現利用白膠或膠水最適合作為感溫粉塗料的溶劑，將其運用在衣服及奶瓶上，形成生活中的感溫變色用品。

壹、研究動機

便利商店為了吸引買氣，總會推出各式各樣的集點換贈品活動，而前一陣子某家超商推出的「阿朗基變色杯」（如右圖 1-1-1）吸引了我們的興趣，只要在杯子中倒入冰水，就能在杯子上浮現原本不存在的圖案，一旦溫度提高，圖案則再度消失，變化不但迅速，而且能反覆操作。同學們觀察發現，變色杯不但遇到冷水會變化圖案，在天氣寒冷時，隱藏的圖案也會浮現，似乎與包裝說明中「需要倒入 15°C 以下冰水才能變色」的敘述有差異，另外也有同學提出有另一類是遇到熱水才會改變圖案的變色杯。對於變色杯變色原理的好奇，以及各種變色杯變色狀況之差異，引發了我們以此為研究主題的動機。



圖 1-1-1 阿朗基變色杯

經過網路的相關資料搜尋，我們發現確實有能依據溫度變化產生顏色改變的「感溫變色材料」，其中最容易取得及進行研究的為「感溫變色微膠囊粉（簡稱感溫粉）」，我們將由對變色杯及感溫粉的變色狀況開始研究，進一步探究不同感溫粉與不同溶劑的混合作用，並運用在生活中需要做溫度辨識的物品上，製作出溫度提示之應用。

貳、研究目的

- 一、探討各類變色杯的變色狀況及溫度範圍
- 二、探討各類感溫粉的變色狀況及溫度範圍
- 三、探討各類感溫粉的混合作用
- 四、探討各類感溫粉與顏料的混合作用
- 五、探討各類溶劑對感溫粉使用的影響
- 六、探討各類材質附著面對感溫粉使用的影響
- 七、探討感溫粉對需溫度辨識物品之應用

參、研究設備及器材

一、研究物品：

(一) 感溫變色微膠囊粉 (如圖 3-1-1)：

包含「藍色 47°C 變色感溫粉」、「紅色 47°C 變色感溫粉」、「黃色 31°C 變色感溫粉」、「藍色 15°C 變色感溫粉」等四種感溫粉。

(二) 變色杯 (如圖 3-1-2)：

種類	名稱	材質	物品說明 (依商品包裝說明)
遇熱變色	LOVE 杯	陶瓷 (新玉瓷)	口徑 7.7 cm、高 9.0cm，倒入 70°C 以上熱水，杯身褐色英文字消失，部分英文字轉為紅色形成 LOVE 字樣。
遇熱變色	OFF 杯	陶瓷 (白瓷)	口徑 8.2cm、高 9.6cm，倒入 70°C 以上熱水，杯身黑底白色 OFF 字樣，轉變為白底黑色 ON 字樣。
遇冷熱變色	小人杯	玻璃	口徑 7.0cm、高度 15.0cm，倒入 43°C 以上熱水使黑色小人變紅色，倒入 22°C 以下冷水使白色小人變藍色。
遇冷變色	阿朗基 猴哥杯	玻璃	口徑 6.4cm、高 14.5cm，倒入 15°C 以下冷水使溫泉圖案中多出多隻泡溫泉的猴子。
遇冷變色	阿朗基 熊貓杯	玻璃	口徑 6.4cm、高 14.5cm，倒入 15°C 以下冷水使各個圖案人物都出現貓熊眼。

(三) 溶劑 (如圖 3-1-3)：

1. 水溶劑：自來水。
2. 有機溶劑：松香水、透明漆、金油。
3. 黏性溶劑：膠水、白膠、漿糊、保麗龍膠。
4. 有色溶劑：廣告顏料

(四) 附著面 (如圖 3-1-4)：

1. 紙類：影印紙、紙餐盤。
2. 塑膠類：保鮮膜、塑膠盒。
3. 木質類：木櫃隔板。
4. 玻璃類：實驗室玻璃片。
5. 金屬類：鋁箔紙、鐵杯。

二、實驗設備：





(一) 量測工具：溫度計、電子秤、塑膠量筒、節拍器。

(二) 容器：燒杯、透明塑膠杯、塑膠皿。

(三) 升溫設備：酒精燈、三腳架、陶瓷纖維網。

(四) 降溫設備：冷凍櫃，可降至零下 10°C。

(五) 記錄工具：數位相機、實驗結果表單。

	
<p>圖 3-1-1 各類感溫微膠囊粉末</p>	<p>圖 3-1-2 各類變色杯</p>
	
<p>圖 3-1-3 各類溶劑</p>	<p>圖 3-1-4 各類附著面</p>

肆、研究過程或方法

研究首先針對各類變色杯及感溫粉之變色狀況進行探討，觀察並記錄其變色狀況、時間及精確的變色溫度。其次進行各類感溫粉混色，及與顏料混色後對顏色及變色狀況之影響，並利用不同溶劑及不同材質附著面進行實驗，了解對感溫粉使用之影響。最後試著以前述的研究成果，探討感溫粉可應用於生活哪些需溫度辨識的物品。

一、各類變色杯變色實驗

引發此研究的「阿朗基變色杯」為遇冷水變色的變色杯，由同學提供兩款圖案不同之阿朗基變色杯（猴哥杯、貓熊杯）實驗。另外經資料查詢發現還有遇熱水變色，及遇冷熱水皆變色的變色杯，請指導老師代購兩款遇熱水變色之變色杯（LOVE 杯、OFF 杯），及一款遇冷熱皆會變色的變色杯（小人杯），進行變色狀況與溫度範圍之比較。研究方法與實驗流程如下：

（一）研究方法：

1 溫度範圍與操縱：

- （1）溫度範圍：依據所有變色杯能承受的水溫溫度（0℃～70℃）為限，加熱或冷卻自來水，以 5℃ 為一區間進行變色觀察，確定變色的大致溫度範圍後，再縮小至 1℃ 為一區間進行精確的變色觀察。

（2）溫度操縱：

- ①加熱：以酒精燈加熱室溫自來水至略超過所需溫度，關火靜置到所需溫度後即刻倒入變色杯中。
- ②冷卻：以冷凍櫃冷卻室溫自來水置略低於所需溫度，取出靜置到所需溫度後即刻倒入變色杯中。

2.實驗記錄：

- (1) 計時：以節拍器調整至每秒發出一聲「滴」聲。
- (2) 拍攝：以數位相機於水倒入變色杯後，配合節拍器計時聲響，每秒拍攝一張變色杯圖案照片。
- (3) 記錄方式：實驗後記錄實驗組別與拍攝照片編號。

3 實驗觀察：

- (1) 是否變色：透過記錄照片確認變色杯於各水溫下是否變色。
- (2) 開始變色時間：透過記錄照片比對出開始變色（顏色出現變異）時間。
- (3) 結束變色時間：透過記錄照片比對出結束變色（顏色不再變異）時間。
- (4) 變色狀況：透過記錄照片確認變色杯於各水溫下最終變色的狀況。

(二) 實驗流程：

- 1.確認倒入各杯中皆能碰觸變色圖案高度的水量，取 200ml 自來水實驗。
- 2.將水加熱或冷卻至所需溫度，立即倒入變色杯中。
- 3.以數位相機每秒拍攝一張圖案變色狀況至不再變色為止，並作觀察與記錄。
- 4.依序完成各個變色杯之實驗。

二、各類感溫粉變色實驗

透過網路資料及相關參考文獻的查詢，我們發現確實存在有能夠隨溫度變化顏色的材料，稱為感溫變色材料，其中較容易取得及操作的為感溫變色微膠囊粉。經過與感溫粉廠商之聯繫得知常用的感溫粉依變色溫度及顏色分類，由於感溫粉價格不便宜，我們選擇 47°C、31°C、15°C 等三種溫度範圍，並分別購入藍、紅、黃等顏料三原色進行實驗。

(一) 研究方法：

1.溫度範圍與操縱：

- (1) 溫度範圍：加熱或冷卻自來水至接近各類感溫粉變色溫度（47°C 感溫粉實驗 40°C~70°C、31°C 感溫粉實驗 20°C~50°C、15°C 感溫粉實驗 0°C~30°C），以 5°C 為一區間進行變色觀察，確定變色的大致溫度範圍後，再縮小至 1°C 為一區間進行精確的變色觀察。

(2) 溫度操縱：

- ①加熱：以酒精燈加熱室溫自來水至略超過所需溫度，關火靜置到所需溫度後，即刻置入感溫粉。
- ②冷卻：以冷凍櫃冷卻室溫自來水置略低於所需溫度，取出靜置到所需溫度後，即刻置入感溫粉。

2.實驗記錄：

- (1) 計時：以節拍器調整至每秒發出一聲「滴」聲。
- (2) 拍攝：以數位相機於感溫粉加入水中後，配合節拍器計時聲響，每秒拍攝一張感溫粉顏色照片。
- (3) 記錄方式：實驗後記錄實驗組別與拍攝照片編號。

4.實驗觀察：

- (1) 是否變色：透過記錄照片確認感溫粉杯於各水溫下是否變色。
- (2) 開始變色時間：透過記錄照片比對出開始變色（顏色出現變異）時間。

(3) 結束變色時間：透過記錄照片比對出結束變色（顏色不再變異）時間。

(4) 變色狀況：透過記錄照片確認感溫粉於各水溫下最終變色的狀況。

(二) 實驗流程：

1. 稱量所需實驗的感溫粉 0.2 克，密封於小夾鏈袋中。
2. 加熱或冷卻 200ml 自來水至所需溫度，立即將夾鏈袋置入水中。
3. 以數位相機每秒拍攝一張圖案變色狀況至不再變色為止，並作觀察與記錄。
4. 依序完成各個變色杯之實驗。



圖 4-1-1 各類變色杯變色實驗



圖 4-2-1 各類感溫粉變色實驗

三、各類感溫粉混合作用實驗

為了了解感溫粉是否能類似顏料般混色使用，我們混合不同顏色或溫度的感溫粉，研究混合後的顏色變化，以及隨著溫度變化而產生的變色情形，研究方法與流程如下：

(一) 研究方法：

1. 感溫粉混合作用組合：

類別	組別	感溫粉種類
同溫異色	A	47°C 藍+47°C 紅
異溫異色	B	47°C 藍+31°C 黃
	C	47°C 紅+31°C 黃
異溫同色	D	47°C 藍+15°C 藍



圖 4-3-1 加熱混合感溫粉

2. 溫度範圍：除 D 組由 10°C 開始加熱至 50°C，其餘組別由 20°C 開始加熱至 60°C。

3. 實驗記錄：

(1) 拍攝感溫粉混合之顏色狀況。

(2) 拍攝每°C 水中之混合感溫粉顏色照片，並記錄實驗組別與拍攝照片編號。

4. 實驗觀察：

(1) 混合顏色：不同種類感溫粉混合後之顏色變化。

(2) 變色狀況：透過記錄了解顏色變化情形，並比對與單一感溫粉變色異同。

(二) 實驗流程：

1. 稱量各組實驗的兩種感溫粉各 0.2 克，於塑膠皿上混合，觀察混合顏色。
2. 將混合後感溫粉密封於小夾鏈袋中。
3. 將夾鏈袋置入 100ml 水中，以酒精燈逐漸加熱。(如圖 4-3-1)
4. 以數位相機於水溫每上升 1°C 拍攝一張感溫粉變色狀況至 60°C 為止。
5. 依序完成各組實驗。

四、感溫粉與顏料混合作用實驗

由前項實驗了解不同顏色感溫粉可混合作用後，我們進一步想了解感溫粉是否能與一般繪圖用的廣告顏料混合作用，以讓感溫粉應用的顏色變化更為多元。

但當我們直接將感溫粉與顏料（加水稀釋）調和，不論是在杯中先倒入顏料或感溫粉，經過攪拌後，發現感溫粉似乎完全不溶解於水中，會浮在顏料溶液的表面形成類似粉末薄膜，還有部分感溫粉會結成球狀，無法達到混色的效果。（如圖 4-4-1、4-4-2）

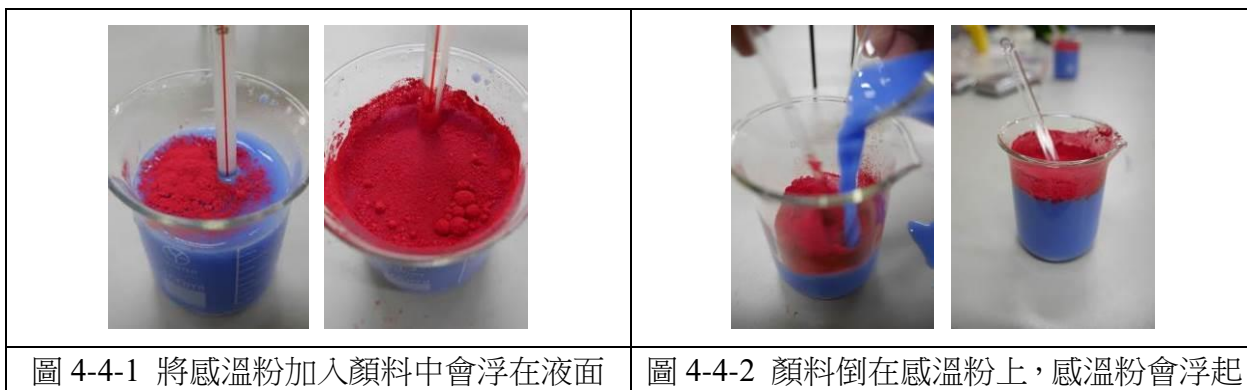


圖 4-4-1 將感溫粉加入顏料中會浮在液面

圖 4-4-2 顏料倒在感溫粉上，感溫粉會浮起

在同學的集思廣益下，想到是否可利用膠水帶著感溫粉均勻散佈在顏料水溶液中？著手試驗後，發現先將感溫粉與膠水攪勻，再加入顏料水溶液可達到接近混合的效果，如下頁圖 4-4-3、4-4-4。

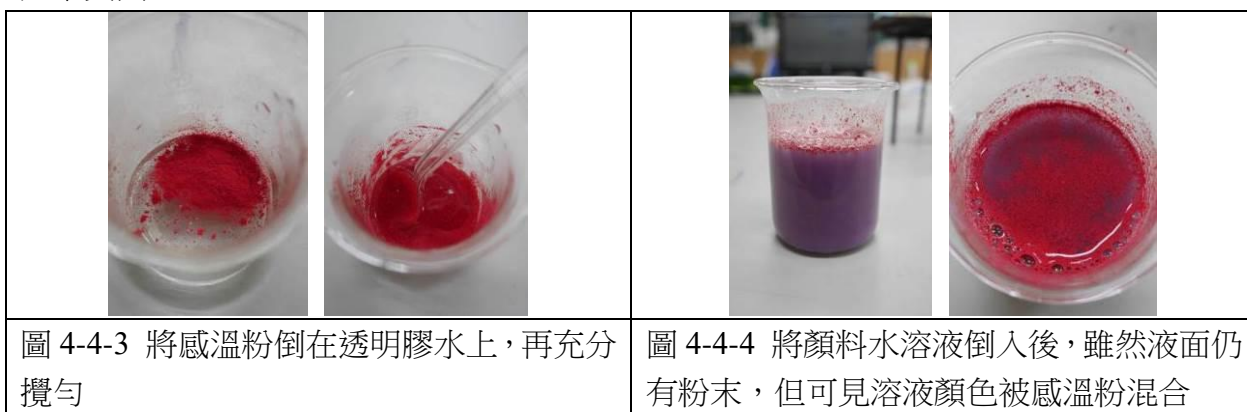


圖 4-4-3 將感溫粉倒在透明膠水上，再充分攪勻

圖 4-4-4 將顏料水溶液倒入後，雖然液面仍有粉末，但可見溶液顏色被感溫粉混合

利用上述方法混合感溫粉與顏料水溶液，依下列研究方法與實驗流程探討感溫粉與顏料的混合作用。

（一）研究方法：

1. 感溫粉與顏料水溶液混合作用組合：顏料以水及白色顏料稀釋調色，使各色顏料調成接近感溫粉之色彩，並進行下列組別之顏色混合。

組別	顏料水溶液	感溫粉種類
A	藍色	47°C 紅
B	藍色	31°C 黃
C	紅色	47°C 藍
D	紅色	31°C 黃
E	黃色	47°C 藍
F	黃色	47°C 紅

- 2.溫度範圍：由 20°C 開始加熱至 60°C。
- 3.實驗記錄：
 - (1) 拍攝感溫粉與顏料水溶液混合之顏色狀況。
 - (2) 拍攝每°C 之混合水溶液顏色照片，並記錄實驗組別與拍攝照片編號。
- 4.實驗觀察：
 - (1) 混合顏色：不同種類感溫粉與顏料水溶液混合後之顏色變化。
 - (2) 變色狀況：透過記錄了解顏色變化情形。

(二) 實驗流程：

- 1.稱量各組所需感溫粉 0.2 克，倒入裝有 20ml 透明膠水的燒杯中，充分攪勻。
- 2.將各組所需之顏料水溶液倒入燒杯，至溶液達 100ml，再充分攪勻，觀察並記錄混合後之溶液顏色。
- 3.依據溫度計指數，以數位相機於溶液每上升 1°C 拍攝一張溶液變色狀況，至 60°C 為止，並作觀察與記錄。
- 4.依序完成各組實驗。

五、各類溶劑對感溫粉使用之影響實驗

由前項實驗發現，感溫粉若單純加入水中，無法溶解成為塗料，因此我們進一步利用有機溶劑、黏性溶劑等物質，實驗感溫粉與其混合或溶解的效果，並實驗在與其他溶劑混合的情況下，是否仍能維持感溫變色的能力。研究方法與實驗流程如下：

(一) 研究方法：

1.溶劑選擇：

類別	溶劑名稱	說明
水	自來水	作為對照。
有機溶劑	松香水、透明漆、金油	常識中，松香水可作為油漆溶劑；透明漆著眼於其透明無色；金油為感溫粉廠商之建議，然無法買到廠商說的透明金油，僅買到金黃色之金油。
黏性溶劑	膠水、白膠、漿糊、保麗龍膠	取生活中常見的各種黏著劑，其中白膠和漿糊非透明。
有色溶劑	廣告顏料	以不加水的廣告顏料直接進行實驗。

- 2.溫度控制：因選擇 47°C 藍色感溫粉做本項實驗，統一以 60°C 水觀察變色狀況。
- 3.實驗記錄：
 - (1) 拍攝感溫粉與各類溶劑混合之狀況，並配合文字心得記錄。
 - (2) 以數位相機於混有感溫粉及溶劑之夾鏈袋放入 60°C 水中，配合節拍器計時聲響，每秒拍攝一張變色狀況。
- 4.實驗觀察：
 - (1) 混合情形：感溫粉與各類溶劑混合後的型態與顏色。

(2) 變色狀況：透過記錄了解顏色變化情形。

(二) 實驗流程：

1. 稱量感溫粉 0.2 克於塑膠皿中，以滴管滴入或吸管沾入約 3ml 各式溶劑，觀察並記錄混合情形。
2. 將混合液倒入夾鏈袋中，密封後放入加熱至 60°C 水中。
3. 以數位相機每秒拍攝一張變色狀況至不再變色為止，並作觀察與記錄。
4. 依序完成各組實驗。



圖 4-5-1 稱量感溫粉進行實驗



圖 4-5-2 將各種溶劑滴入感溫粉中

六、各類附著面對感溫粉使用之影響實驗

為了讓感溫變色材料能成為生活中運用的塗料，我們進一步取自然教室中各類材質（包含紙類、塑膠類、木質類、玻璃類、金屬類等）的物品，作為塗料附著實驗，了解前項實驗中感溫粉與各種溶劑的混合液在不同材質的附著面上，是否適合成為塗料。研究方法與實驗流程如下：

(一) 研究方法：

1. 附著面材質選擇：

類別	附著面名稱	說明
紙類	影印紙、紙餐盤	採用較薄較軟的 A4 影印紙與較硬較厚的紙餐盤實驗，紙餐盤利用正面無凹凸處實驗。
塑膠類	保鮮膜、塑膠盒	採用較薄較軟的保鮮膜與較硬較厚的塑膠盒實驗，保鮮膜包於瓦楞紙板外實驗，塑膠盒取底面平坦處實驗。
木質類	木櫃隔板	採用實驗室木櫃的隔板。
玻璃類	實驗室玻璃片	採用實驗室的小玻璃片。
金屬類	鋁箔紙、鐵杯	採用較薄較軟的鋁箔紙與較硬較厚的鐵杯實驗，鋁箔紙包於瓦楞紙板外實驗，鐵杯取底面平坦處實驗。

2. 塗料控制：取 0.2 克 47°C 藍色感溫粉，加入約 5ml 各式溶劑中，均勻攪拌。

3. 實驗記錄：

- (1) 以文字記錄塗料塗於附著面之情形。
- (2) 以數位相機拍攝塗料塗於各種材質附著面上之情形。

4. 實驗觀察：

- (1) 附著情形：塗料塗於各式材質附著面上之情形。
- (2) 附著能力：將附著面垂直立起，觀察塗料是否能保持原狀不滴下。

(3) 乾燥狀況：將塗料塗於附著面上一天後，觀察塗料乾燥後之情形。

(二) 實驗流程：

- 1.量取感溫粉 0.2 克於紙杯中，倒入約 5ml 各式溶劑，攪拌使感溫粉均勻分布。
- 2.以小湯匙舀取塗料，塗於各種附著面上，並以標籤貼紙分類標示。
- 3.以數位相機拍攝塗料塗於各種材質之附著情形。
- 4.將附著面垂直 90 度立起，以數位相機拍攝塗料於各種材質之附著情形。
- 5.將附著面平放靜置 1 天，以數位相機拍攝塗料於各種材質之附著情形。

七、感溫粉應用實驗

研究利用取得的四種感溫粉，及前述實驗中所得塗料變色與附著的結果，製作生活中可運用的感溫變色物品，包含：

(一) 感溫變色衣：利用藍色 15°C 及黃色 31°C 感溫粉，在衣服上塗上低溫和高溫警示文字，提醒穿著時增減衣物。

- 1.塗料調製：依據前項實驗，原預定利用透明漆調製塗料，但研究同學一致認為味道刺鼻，且可能對身體有害，用白膠或保麗龍膠又不易寫字，考量布料如同紙類一樣有纖維可吸水，因此利用實驗四中混合膠水與水的方式製作塗料。

(1) 低溫變色塗料：0.2 克 15°C 藍色感溫粉+20ml 膠水+20ml 水，約 15°C 以下顏色由無變藍。

(2) 高溫變色塗料：0.2 克黃色 31°C 感溫粉+少許紅色顏料+20ml 膠水+20ml 水，約 30°C 以上顏色由橘變紅；0.2 克 31°C 黃色感溫粉+少許藍色顏料+20ml 膠水+20ml 水，約 30°C 以上顏色由綠變藍。

- 2.實驗流程：以高低溫變色塗料分別在衣服上寫「HOT」及「COLD」字樣，並利用吹風機與冷凍櫃測試變色結果。

(二) 感溫變色奶瓶：嬰兒的牛奶適合用 40~50°C 沖泡，利用藍色 47°C 感溫粉，在奶瓶瓶身畫上警示圖案，避免調配牛奶時水溫過高。

- 1.塗料調製：依據前項實驗，白膠和保麗龍膠都容易在塑膠材質上附著，但保麗龍膠過黏不易塑型，故採用白膠製作塗料。以 0.2 克藍色 47°C 感溫粉+少許紅色顏料+約 10ml 白膠調製，約 45°C 以上顏色由紫轉紅。

- 2.實驗流程：以高溫變色塗料在奶瓶上畫出「驚嘆號」，倒入 60°C 熱水，測試變色結果。



圖 4-7-1 繪製感溫變色衣圖案



圖 4-7-2 在感溫變色奶瓶中加入熱水

伍、研究結果



















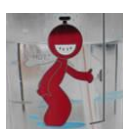
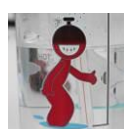


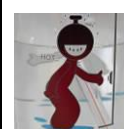

一、各類變色杯變色實驗結果

研究分別在三款遇熱變色杯（LOVE 杯、OFF 杯、小人杯），及三款遇冷變色杯（猴哥杯、熊貓杯、小人杯）中，倒入不同溫度的水，觀察各類變色杯變色時間與變色狀況之差異，實驗結果如下：

（一）遇熱變色杯之實驗結果：








































1.以 5°C 溫度區間觀察：自三種遇熱變色杯所能承受溫度上限 70°C 開始，以 5°C 為一區間實驗，每秒拍攝一張照片，拍攝至不再變色，變色時間與變色狀況結果如表 5-1-1。

表 5-1-1 遇熱變色杯 5°C 溫度區間變色時間與狀況

杯名	觀察項目	未加水	70°C	65°C	60°C	55°C	50°C	45°C	40°C
LOVE 杯	是否變色	-	變色	變色	變色	變色	變色	變色	不變色
	開始變色	-	4 秒	4 秒	9 秒	13 秒	21 秒	36 秒	-
	結束變色	-	26 秒	24 秒	37 秒	56 秒	60 秒	60 秒	-
	變色狀況								
OFF 杯	是否變色	-	變色	變色	變色	變色	變色	不變色	不變色
	開始變色	-	5 秒	6 秒	11 秒	21 秒	21 秒	-	-
	結束變色	-	44 秒	45 秒	45 秒	59 秒	60 秒	-	-
	變色狀況								
小人杯	是否變色	-	變色	變色	變色	變色	變色	變色	變色
	開始變色	-	1 秒	2 秒	4 秒	8 秒	16 秒	14 秒	27 秒
	結束變色	-	1 秒	5 秒	13 秒	18 秒	41 秒	36 秒	59 秒
	變色狀況								

2.以 1°C 溫度區間觀察：根據前項結果，針對三個遇熱變色杯變色的大致溫度區間，再以 1°C 為區間進行精確實驗，拍攝變色狀況照片，確認三個遇熱變色杯精確的變色溫度，結果如表 5-1-2。

















表 5-1-2 遇熱變色杯 1°C 溫度區間變色狀況

杯名	未加水	47°C	46°C	45°C	44°C	43°C	42°C	41°C	40°C	39°C
LO VE 杯		變色	變色	變色	變色	不變色	不變色	\		
	     									
OFF 杯		變色	不變色	不變色	\					
	  									
小人 杯		變色	變色	變色	變色	變色	變色	變色	變色	不變色
	        									

(二) 遇冷變色杯之實驗結果：

1. 以 5°C 溫度區間觀察：自三種遇冷變色杯所能承受溫度下限 0°C 開始，以 5°C 為一區間實驗，每秒拍攝一張照片，拍攝至不再變色，變色時間與變色狀況結果如表 5-1-3。

表 5-1-3 遇冷變色杯 5°C 溫度區間變色時間與狀況

杯名	觀察項目	未加水	0°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C
猴哥 杯	是否變色	-	變色	變色	變色	變色	變色	不變色	不變色
	開始變色	-	1 秒	3 秒	4 秒	無法辨識	無法辨識	-	-
	結束變色	-	9 秒	13 秒	31 秒	36 秒	無法辨識	-	-
	變色狀況								
貓熊 杯	是否變色	-	變色	變色	變色	變色	變色	不變色	不變色
	開始變色	-	2 秒	4 秒	3 秒	無法辨識	無法辨識	-	-
	結束變色	-	8 秒	13 秒	12 秒	17 秒	無法辨識	-	-
	變色狀況								

小人杯	是否變色	-	變色	變色	變色	變色	變色	不變色	不變色
	開始變色	-	2 秒	4 秒	3 秒	4 秒	無法辨識	-	-
	結束變色	-	23 秒	20 秒	19 秒	42 秒	無法辨識	-	-
	變色狀況								

2.以1°C溫度區間觀察:根據前項結果,針對三個遇冷變色杯變色的大致溫度區間,再以1°C為區間進行精確實驗,拍攝變色狀況照片,確認三個遇冷變色杯精確的變色溫度,結果如表 5-1-4。

表 5-1-4 遇熱變色杯 1°C溫度區間變色狀況

杯名	未加水	20°C	21°C	22°C	23°C	24°C	25°C
猴哥杯		變色	變色	變色	變色	不變色	不變色
貓熊杯		變色	變色	變色	不變色	不變色	不變色
小人杯		變色	變色	變色	變色	變色	不變色









二、各類感溫粉變色實驗結果

研究分別將四種感溫粉(藍色 47°C、紅色 47°C、黃色 31°C、藍色 15°C),放入不同溫度的水中,觀察各類感溫粉變色時間與狀況之差異,實驗結果如下:

(一) 藍色 47°C 感溫粉之實驗結果:

1.以 5°C 溫度區間觀察:在 40°C~70°C 的溫度間,以 5°C 為一區間實驗,每秒拍攝一張照片,至不再變色,變色狀況與時間結果如表 5-2-1。








表 5-2-1 藍色 47°C 感溫粉 5°C 溫度區間變色狀況與時間

觀察項目	室溫	70°C	65°C	60°C	55°C	50°C	45°C	40°C
是否變色	-	變色	變色	變色	變色	變色	變色	不變色
開始變色	-	1 秒	1 秒	1 秒	1 秒	1 秒	2 秒	-
結束變色	-	3 秒	3 秒	4 秒	4 秒	7 秒	13 秒	-
最終變色狀況								

備註：實驗時室溫約 18°C

2.以 1°C 溫度區間觀察：根據前項結果，針對藍色 47°C 感溫粉變色的大致溫度區間，再以 1°C 為區間進行精確實驗，拍攝變色狀況照片，確認藍色 47°C 感溫粉精確的變色溫度，結果如表 5-2-2。









表 5-2-2 藍色 47°C 感溫粉 1°C 溫度區間變色狀況

觀察項目	室溫	45°C	44°C	43°C	42°C	41°C	40°C
是否變色	-	變色	變色	變色	變色	變色	不變色
最終變色狀況							

(二) 紅色 47°C 感溫粉之實驗結果：

1.以 5°C 溫度區間觀察：在 40°C ~ 70°C 的溫度間，以 5°C 為一區間實驗，每秒拍攝一張照片，至不再變色，變色狀況與時間結果如表 5-2-3。








表 5-2-3 紅色 47°C 感溫粉 5°C 溫度區間變色狀況與時間

觀察項目	室溫	70°C	65°C	60°C	55°C	50°C	45°C	40°C
是否變色	-	變色	變色	變色	變色	變色	變色	不變色
開始變色	-	1 秒	1 秒	1 秒	1 秒	1 秒	6 秒	-
結束變色	-	3 秒	4 秒	3 秒	3 秒	6 秒	14 秒	-
最終變色狀況								

備註：實驗時室溫約 19°C

2.以 1°C 溫度區間觀察：根據前項結果，針對紅色 47°C 感溫粉變色的大致溫度區間，再以 1°C 為區間進行精確實驗，拍攝變色狀況照片，確認紅色 47°C 感溫粉精確的變色溫度，結果如表 5-2-4。








表 5-2-4 紅色 47°C 感溫粉 1°C 溫度區間變色狀況

觀察項目	室溫	45°C	44°C	43°C	42°C	41°C	40°C
是否變色	-	變色	變色	變色	變色	變色	不變色
最終變色狀況							

(三) 黃色 31°C 感溫粉之實驗結果：

1. 以 5°C 溫度區間觀察：在 20°C ~ 50°C 的溫度間，以 5°C 為一區間實驗，每秒拍攝一張照片，至不再變色，變色狀況與時間結果如表 5-2-5。








表 5-2-5 黃色 31°C 感溫粉 5°C 溫度區間變色狀況與時間

觀察項目	室溫	50°C	45°C	40°C	35°C	30°C	25°C	20°C
是否變色	-	變色	變色	變色	變色	變色	不變色	不變色
開始變色	-	1 秒	1 秒	1 秒	1 秒	1 秒	-	-
結束變色	-	3 秒	4 秒	5 秒	8 秒	7 秒	-	-
最終變色狀況								同室溫下結果

備註：實驗時室溫約 20°C

2. 以 1°C 溫度區間觀察：根據前項結果，針對黃色 31°C 感溫粉變色的大致溫度區間，再以 1°C 為區間進行精確實驗，拍攝變色狀況照片，確認黃色 31°C 感溫粉精確的變色溫度，結果如表 5-2-6。


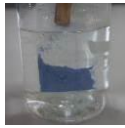
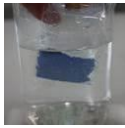
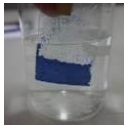

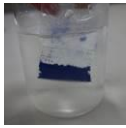

表 5-2-6 黃色 31°C 感溫粉 1°C 溫度區間變色狀況

觀察項目	室溫	30°C	29°C	28°C	27°C	26°C	25°C
是否變色	-	變色	變色	變色	變色	變色	不變色
最終變色狀況							

(四) 藍色 15°C 感溫粉之實驗結果：

1. 以 5°C 溫度區間觀察：在 0°C ~ 30°C 的溫度間，以 5°C 為一區間實驗，每秒拍攝一張照片，至不再變色，變色狀況與時間結果如表 5-2-7。


表 5-2-6 藍色 15°C 感溫粉 5°C 溫度區間變色狀況與時間

觀察項目	室溫	30°C	25°C	20°C	15°C	10°C	5°C	0°C
是否變色	-	不變色	不變色	不變色	變色	變色	變色	變色
開始變色	-	-	-	-	2 秒	1 秒	1 秒	1 秒
結束變色	-	-	-	-	11 秒	4 秒	5 秒	3 秒
最終變色狀況				同室溫下結果				

備註：實驗時室溫約 20°C

2.以 1°C 溫度區間觀察：根據前項結果，針對藍色 15°C 感溫粉變色的大致溫度區間，再以 1°C 為區間進行精確實驗，拍攝變色狀況照片，確認藍色 15°C 感溫粉精確的變色溫度，結果如表 5-2-6。

表 5-2-8 藍色 15°C 感溫粉 1°C 溫度區間變色狀況

觀察項目	室溫	20°C	17°C	16°C	15°C
是否變色	-	不變色	不變色	不變色	變色
最終變色狀況		同室溫下結果			

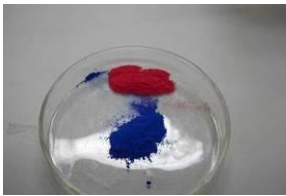
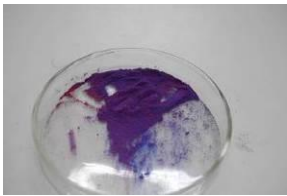

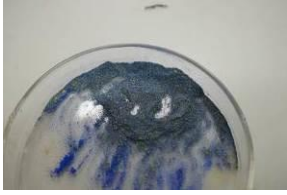
三、各類感溫粉混合作用實驗結果




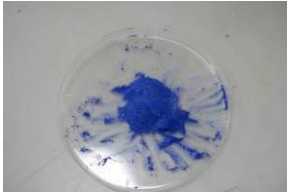
研究分別將四種感溫粉，分別以同溫異色、異溫異色、異溫同色等三類共四種組合做混合，實驗混合後的顏色變化，以及混合粉末在加熱時的顏色變化，實驗結果如下：

(一) 各類感溫粉混合顏色之實驗結果：

將各類感溫粉皆取 0.2 克於塑膠皿上，以湯匙均勻攪拌，使不同的感溫粉充分混合，以數位相機拍攝混合前後之顏色變化，實驗結果如表 5-3-1。

表 5-3-1 各類感溫粉混合顏色實驗結果





































類別	感溫粉	混合前顏色	混合後顏色	
同溫異色	A 組 藍色 47°C 紅色 47°C		紫色	
異溫異色	B 組 藍色 47°C 黃色 31°C		暗藍綠色 (偏灰)	

	C 組 紅色 47°C 黃色 31°C		深橘色	
異溫 同色	D 組 藍色 47°C 藍色 15°C		藍色	

(二) 混合感溫粉在不同溫度的顏色變化結果：

將混合後的感溫粉倒入夾鏈袋中，置入裝有常溫水的燒杯中，利用酒精燈由室溫加熱至 60°C，每°C 拍攝一張照片記錄，因照片記錄太多，以下節錄每 5°C 為一區間之顏色變化情形，如表 5-3-2。

表 5-3-2 各類混合感溫粉變色狀況實驗結果

組別	各溫度變色狀況								
	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C
A 組 藍 47°C 紅 47°C									
B 組 藍 47°C 黃 31°C									
C 組 紅 47°C 黃 31°C									
D 組 藍 47°C 藍 15°C									

備註：藍色 47°C 與藍色 15°C 的混合粉末因變色範圍較低溫，故由 10°C 開始加熱至 50°C。










四、感溫粉與顏料混合作用實驗結果

研究分別將三色感溫粉，利用膠水分別與紅、黃、藍三色廣告顏料進行混合，實驗混合後的顏色變化，以及混合液在加熱時的顏色變化，實驗結果如下：

(一) 感溫粉與廣告顏料混合顏色之實驗結果：

將 0.2 克的各式感溫粉，以 20ml 透明膠水攪勻後，倒入廣告顏料水溶液達 100ml，在充分攪勻後觀察混合顏色，並比較廣告顏料之原色，實驗結果如表 5-4-1。




























表 5-4-1 感溫粉與廣告顏料混合顏色實驗結果




























組別	A	B	C	D	E	F
顏料	藍色 		紅色 		黃色 	
感溫粉	紅色 47°C	黃色 31°C	藍色 47°C	黃色 31°C	藍色 47°C	紅色 47°C
混合液顏色	 紫色	 暗藍色	 紫紅色	 紅色	 墨綠色	 橘色

(二) 感溫粉與廣告顏料混合液在不同溫度的顏色變化結果：

將感溫粉與顏料的混合液利用酒精燈由室溫加熱至 60°C，每°C 拍攝一張照片記錄，因照片記錄太多，以下節錄每 5°C 為一區間之顏色變化情形，如表 5-4-2。

表 5-4-2 各類混合液變色狀況實驗結果

組別	各溫度變色狀況								
	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C
A 組 藍顏料 紅 47°C									
B 組 藍顏料 黃 31°C									
C 組 紅顏料 藍 47°C									

D 組 紅顏料 黃 31°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C
									
E 組 黃顏料 藍 47°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C
									
F 組 黃顏料 紅 47°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C
									







五、各類溶劑對感溫粉使用之影響實驗結果

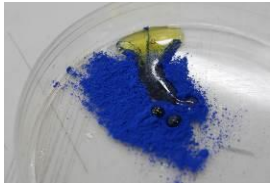
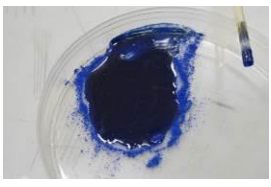










研究分別將藍色 47°C 感溫粉與四大類（水、有機溶劑、黏性溶劑、有色溶劑）共九種溶劑混合，實驗混合後的狀態變化，以及混合液在加熱時的顏色變化，實驗結果如下：

（一）感溫粉與溶劑混合狀態之實驗結果：

將 0.2 克的各式感溫粉，滴入或沾入 3ml 各式溶劑攪勻後，觀察混合後混合液狀態，並以相機及文字記錄，實驗結果如表 5-5-1。

表 5-5-1 感溫粉與溶劑混合狀態實驗結果

類別	溶劑	感溫粉混合前狀態	感溫粉混合後狀態	說明
水	自來水			感溫粉完全不會融入水中，也無法均勻散布，而是浮在水面上形成類似一層膜，有些感溫粉會包裹水滴成為滾動的藍色小球。
有機溶劑	松香水			混合後仍為液狀，較原本松香水濃稠，看不見感溫粉顆粒，顏色變為很深的藍色（接近黑色），有刺鼻味。
	透明漆			混合後仍為液狀，較原本透明漆濃稠，看不見感溫粉顆粒，顏色變為很深的藍色，有刺鼻味。

















	金油			混合後仍為液狀，較原本金油濃稠（但不像松香水和透明漆混合後那麼濃稠），顏色變稍深的藍色，看起來像廣告顏料。
黏性 溶劑	膠水			混合後感溫粉能均勻散布，粉粒明顯，顏色與原本感溫粉顏色接近，稍有透明感，具黏性但易攪拌。
	白膠			混合後感溫粉能均勻散布，粉粒明顯，顏色變為淡藍色，具黏性但易攪拌，不易乾。
	保麗龍膠			混合攪拌後會結成一團，非液狀，感溫粉不易均勻混合，黏性很強，顏色稍偏深藍色。
	漿糊			混合後十分濃稠，粉粒不明顯，具黏性，顏色與原本感溫粉末接近，保有漿糊獨特的味道。
有色 溶劑	廣告顏料			混合後與原本顏料狀態接近，類似染成淺藍色的顏料。

(二) 感溫粉與溶劑混合後感溫變色之實驗結果：

將前項實驗中混合好的混合液置入夾鏈袋中，並放入 60°C 水中，觀察混合液顏色及狀態變化情形，並以相機記錄，實驗結果如表 5-5-2。

表 5-5-2 感溫粉與溶劑混合液變色狀況實驗結果

類別	溶劑	開始變色	結束變色	實驗前狀態	變色情形	說明
水	自來水	1 秒	8 秒			變色後混合液呈淡藍色。

有機 溶劑	松香水	2 秒	18 秒			加熱後夾鏈袋收縮扭曲，混合液呈淡藍色。
	透明漆	1 秒	13 秒			變色後混合液呈很淡的藍色，混合液會擠到邊緣。
	金油	1 秒	8 秒			變色後混合液呈暗藍綠色，混合液被擠壓成 V 字型。
黏性 溶劑	膠水	1 秒	8 秒			變色後混合液呈淡藍色。
	白膠	1 秒	5 秒			變色後混合液呈接近白色的淡藍色。
	保麗龍膠	1 秒	4 秒			變色後混合液呈淡藍色。
	漿糊	1 秒	8 秒			變色後混合液呈淡藍色（顏色較深些）。
有色 溶劑	廣告顏料	1 秒	5 秒			變色後混合液幾乎呈白色。



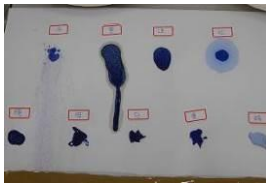
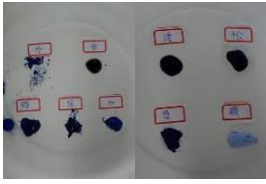

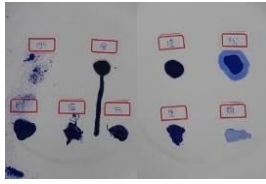



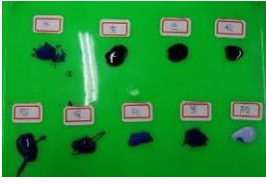





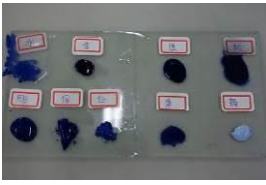
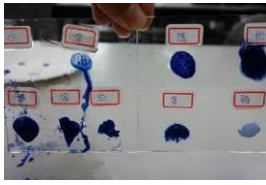

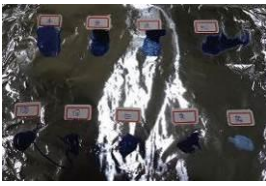



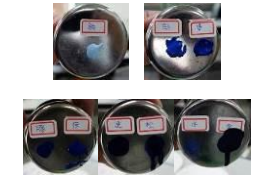
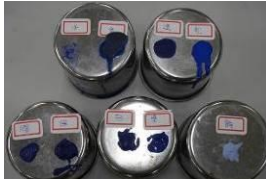
六、各類附著面對感溫粉使用之影響實驗結果

研究分別將前項實驗的九種混合液作為塗料，塗在五大類（紙類、塑膠類、木質類、玻璃類、金屬類）共八種材質的附著面上，了解感溫粉運用各種溶劑混合後，是否適合作為塗料，以及其附著力狀況，實驗結果如下：

（一）感溫粉與溶劑混合液塗料塗於各類材質附著面之情形：

將 0.2 克的感溫粉，加入約 5ml 的溶劑攪勻後，塗抹於各附著面上，分別觀察附著面平放、立放，及放置一日後塗料的附著狀況，實驗結果如表 5-6-1。

表 5-6-1 感溫粉塗料塗於各材質附著面實驗結果

類別	附著面	附著面平放	附著面立起	靜置一日後
紙類	影印紙			
紙類	紙餐盤			
塑膠類	保鮮膜			
	塑膠盒			
木質類	木櫃 隔板			
玻璃類	實驗室 玻璃片			
金屬類	鋁箔紙			
	鐵杯			
備註	<p>感溫粉塗料位置對照：</p> <p>水 金油 透明漆 松香水</p> <p>膠水 保麗龍膠 白膠 漿糊 顏料</p>			

(二) 感溫粉與溶劑混合液塗料塗於各類材質附著面之附著力：

比較各類塗料於各種附著面上之狀況，以能附著不流動變形者記錄為○，能附著但會流動變形者記錄為▲，完全無法附著者記錄為×，分別記錄靜置前後附著力狀況，實驗結果如表 5-6-2。

表 5-6-2 感溫粉塗料塗於各材質附著面附著力比較

溶劑種類	靜置前後	紙類		塑膠類		木質類	玻璃類	金屬類	
		影印紙	紙餐盤	保鮮膜	塑膠盒	隔板	玻璃片	鋁箔紙	鐵杯
水	靜置前	×	×	×	×	×	×	×	×
	靜置後	×	×	×	×	×	×	×	×
	說明	完全無法在任何材質附著，靜置後水完全蒸發，剩下感溫粉殘存。							
金油	靜置前	▲	▲	×	×	○	×	▲	▲
	靜置後	▲	▲	×	×	○	×	▲	▲
	說明	容易塗抹，但除了能被木板吸附，在其餘材質上皆會流動。							
透明漆	靜置前	○	○	▲	○	○	○	▲	○
	靜置後	○	○	○	○	○	○	○	○
	說明	容易塗抹，幾乎能附著所有的表面，但顏色變得很深，且對塑膠有腐蝕性。							
松香水	靜置前	○	○	▲	▲	○	○	▲	○
	靜置後	○	○	○	○	○	○	○	○
	說明	容易塗抹，能附著多數表面，但在紙類、木質類會暈開，乾了後表面感溫粉會脫落。							
膠水	靜置前	○	○	▲	▲	○	▲	▲	○
	靜置後	○	○	×	○	○	○	○	○
	說明	塗料稍黏，未乾前仍會流動，定型後附著性佳，有一些亮粉般的光澤。							
保麗龍膠	靜置前	○	○	○	○	○	○	○	○
	靜置後	○	○	○	○	○	○	○	○
	說明	很黏不易塗抹，能附著所有表面，但不易確定形狀，塗抹時會拖著長絲狀。							
白膠	靜置前	○	○	○	○	○	○	○	○
	靜置後	○	○	○	○	○	○	○	○
	說明	塗料稍黏，塗抹稍不易，能附著所有表面，顏色很均勻。							
漿糊	靜置前	○	○	○	○	○	○	○	○
	靜置後	○	○	×	×	○	○	○	○
	說明	塗料黏不易塗抹，能附著所有表面，但在塑膠表面乾燥後會整片脫落。							
廣告顏料	靜置前	○	○	○	○	○	○	○	○
	靜置後	○	○	▲	○	○	○	○	○
	說明	容易塗抹，能附著所有表面，但乾燥後塗料表面會有裂痕，顏色較淡。							

七、感溫變色粉應用之實驗結果

(一) 感溫變色衣：因研究進行時天氣較寒冷（室溫約 20°C），感溫變色衣上的低溫變色塗料呈現淡藍色 COLD 字樣，而高溫變色塗料則分別呈現橘色 HOT 字樣及綠色波浪圖案（如圖 5-7-1）。經冷凍櫃降溫，可發現 COLD 字樣變為深藍色（如圖 5-7-2），經吹風機加熱，則可發現 HOT 字樣變為淺紅色、波浪圖案變為藍色（如圖 5-7-3）。

		
<p>圖 5-7-1 感溫變色衣</p>	<p>圖 5-7-2 感溫變色衣低溫變色情形</p>	<p>圖 5-7-3 感溫變色衣高溫變色情形</p>

(二) 感溫變色奶瓶：在奶瓶表面以白膠混合藍色 47°C 感溫粉與紅色顏料，調製紫色高溫變色塗料，畫上驚嘆號圖案做警示（如圖 5-7-4）。經靜置一天後使白膠乾燥，紫色驚嘆號圖案顏色變深（如圖 5-7-5）。倒入 60°C 熱水，圖案由紫色變深桃紅，提供水溫過熱警示（如圖 5-7-6）。

		
<p>圖 5-7-4 感溫變色奶瓶</p>	<p>圖 5-7-5 靜置一天後圖案顏色變深</p>	<p>圖 5-7-6 感溫變色奶瓶高溫變色情形</p>

陸、討論

一、各類變色杯變色狀況及溫度範圍

本研究對變色杯變色之實驗，分為「遇熱變色杯」及「遇冷變色杯」兩類，針對變色時間、變色溫度範圍及最終變色狀況進行觀察記錄，研究討論如下：

(一) 遇熱變色杯變色狀況及溫度範圍：

- 1.變色時間：將三款遇熱變色杯變色開始時間、結束時間彙整為圖 6-1-1、6-1-2。
大致而言，倒入的水溫越高，變色杯即能較快出現變色狀況，並較快達到最終變色狀況。圖中也可以發現玻璃製的「小人杯」比另外兩者變色快速，三者在 60°C 以上有較快速的變色反應（5 秒內）。

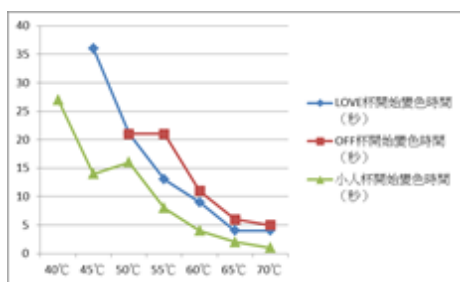


圖 6-1-1 遇熱變色杯開始變色時間

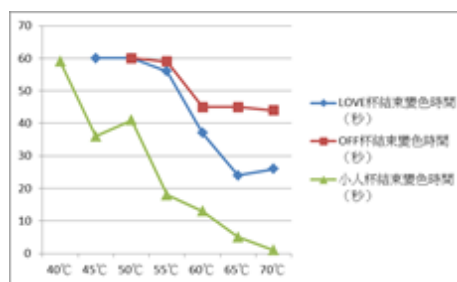


圖 6-1-2 遇熱變色杯結束變色時間

2.變色溫度範圍：

杯名	精確變色溫度	明顯變色溫度
(1) LOVE 杯	44°C 以上	50°C 以上
(2) OFF 杯	47°C 以上	50°C 以上
(3) 小人杯	40°C 以上	45°C 以上

3.綜合討論：

三款遇熱變色杯中，「LOVE 杯」及「OFF 杯」材質皆為陶瓷，變色溫度都標示為 70°C 以上熱水變色；「小人杯」材質為玻璃，標示為 43°C 變色。實際實驗結果，發現前兩者分別在 44°C、47°C 以上便出現變色情形，50°C 以上即有明顯的變色結果，商品標示 70°C 變色，一方面可能為了符合熱飲溫度，一方面可能也是確保變色結果快速且完整；相對而言「小人杯」的商品標示則較為準確。

(二) 遇冷變色杯變色狀況及溫度範圍：

- 1.變色時間：將三款遇冷變色杯變色開始時間、結束時間彙整為下頁圖 6-1-3、6-1-4。
因室溫接近 20°C，故 15~20°C 間的顏色變化難確認，三杯在 10°C 以下的開始變色速度快速，整體變化狀況也類似。

2.變色溫度範圍：

杯名	精確變色溫度	明顯變色溫度
(1) 猴哥杯	23°C 以下	15°C 以下
(2) 貓熊杯	22°C 以下	15°C 以下
(3) 小人杯	24°C 以下	15°C 以下

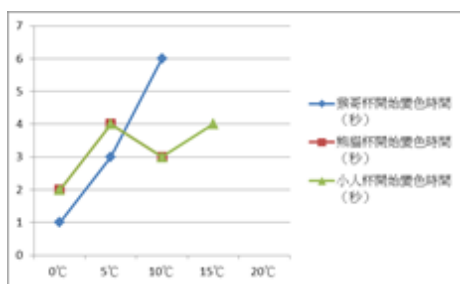


圖 6-1-3 遇熱變色杯開始變色時間

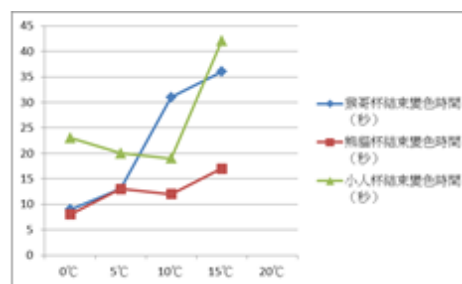


圖 6-1-4 遇熱變色杯結束變色時間

3.綜合討論：

三款遇冷變色杯皆為玻璃材質，商品皆標示 15°C 以下變色。實際實驗結果雖然精確變色溫度為 22°C ~ 24°C 範圍，但可發現三款遇冷變色杯確實要在 15°C 以下才有明顯變色。另外發現在冬季約 20 度的室溫下，遇冷變色杯的圖案都會有些許的浮現，變色效果不如遇熱變色杯顯著。

(三) 變色杯變色狀況綜合討論：

比對感溫粉變色狀況的實驗，及感溫粉廠商提供之資訊，推測各變色杯設計如下：

1. LOVE 杯：使用褐色 47°C 印刷英文字樣，遇熱褪色後露出紅色 LOVE 底圖。
2. OFF 杯：使用黑色 47°C 印刷表面，遇色後露出白底及黑色 ON 字樣。
3. 小人杯：使用黑色 47°C 覆蓋高溫面小人身體，褪色後露出紅色身體圖案；
使用藍色 15°C 覆蓋低溫面小人身體，常溫下為白色，低溫露出藍色。
4. 猴哥杯：使用藍色 15°C 覆蓋溫泉圖案，常溫下為米白色，低溫露出藍色。
5. 貓熊杯：使用黑色 15°C 覆蓋眼睛圖案，常溫下為白灰色，低溫露出黑色。

二、各類感溫粉變色狀況及溫度範圍

本研究對感溫粉變色之實驗，針對變色時間、變色溫度範圍及最終變色狀況進行觀察記錄，研究討論如下：

(一) 變色時間：將四種感溫粉變色開始時間、結束時間彙整為圖 6-2-1、6-2-2。

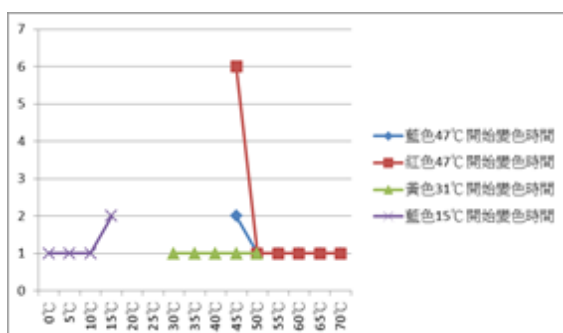


圖 6-2-1 感溫粉變色開始時間

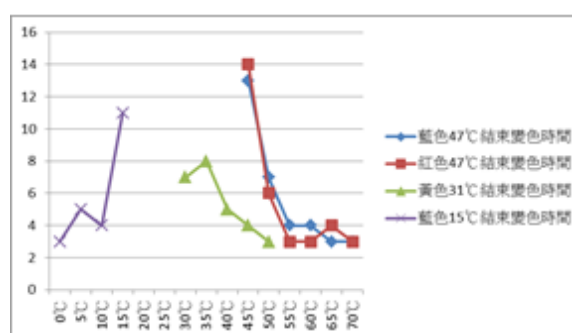


圖 6-2-2 感溫粉變色結束時間

1. 開始變色時間：因為直接接觸冷熱水，在大部分的水溫下，各種感溫粉皆能在 1 秒內迅速開始變色，可發現感溫粉的變色是很即時的。
2. 結束變色時間：接近變色溫度的水溫下，感溫粉需較久的時間達到變色結果，其餘則多能在 5 秒內迅速變色完成。

(二) 變色溫度範圍：

感溫粉	精確變色溫度	明顯變色溫度
1.藍色 47°C	41°C 以上	50°C 以上
2.紅色 47°C	41°C 以上	50°C 以上
3.黃色 31°C	26°C 以上	30°C 以上
4.藍色 15°C	15°C 以下	15°C 以下

(三) 綜合討論：

- 1.感溫粉變色機制高溫褪色，各種感溫粉達到特定溫度以上會褪色，但非褪為完全透明無色，而是呈現灰白色。
- 2.感溫粉的變色是隨溫度漸進的，並非在某一溫度點突然變色。
- 3.同樣溫度感溫粉，其變色時間、溫度範圍大致相同。
- 4.47°C 和 31°C 感溫粉精確變色溫度比標示低，但明顯變色仍須達到標示溫度。
- 5.15°C 感溫粉變色範圍與實驗室溫（約 20°C）接近，故本身其實已有些微變色狀況（呈淡藍色）。

三、各類感溫粉混合作用討論

本研究對不同種類感溫粉混合顏色變化及混合粉末變色狀況進行實驗，研究討論如下：

(一) 感溫粉末混合顏色：

根據實驗結果顯示，感溫粉混合後顏色變化，類似顏料的混合，如「藍+紅=紫」、「紅+黃=橘」、「深藍+淺藍=藍」，唯有「藍+黃」呈現出的顏色非預期的綠色，而是有些暗沉的藍綠色，而「紅+黃」所呈現的橘色也偏紅，似乎黃色 31°C 感溫粉的顏色較不易顯現。但大致而言，感溫粉確實能做顏色混合。

(二) 混合粉末變色狀況：

- 1.同溫異色：藍色 47°C 與紅色 47°C 感溫粉約在同溫度開始變色，所以實驗結果發現紫色由靠近火源處開始變淡，最後變為淡紫色，等於創造了**新顏色**（紫色）的感溫粉。
- 2.異溫異色：黃色 31°C 感溫粉在加熱過程中會先變色，使得兩組實驗在 30°C 以上分別變為藍色及紅色，而在 40°C 以上再逐漸變回淡藍綠及淡橘，形成了**兩段變色**的感溫粉。
- 3 異溫同色：在 10°C 時兩種感溫粉都變成較深的藍色，加熱後藍色 15°C、47°C 感溫粉先後變淡，因此結果類似**變色溫度範圍變長**的藍色感溫粉。

四、感溫粉與顏料混合作用討論

本研究對三種顏色的感溫粉及顏料進行混合，了解混合後顏色變化及混合液變色狀況，研究討論如下：

(一) 感溫粉混合顏色：

- 1.感溫粉雖然無法直接溶於顏料水溶液中，但藉由膠水輔助，能使感溫粉均勻散布在溶液中，類似顏料在水中的效果。
- 2.各色顏料與藍色、紅色感溫粉混合後，皆能達到如顏料混色結果。

3.各色顏料與黃色感溫粉混合幾乎保持顏料色彩，此一結果與前項實驗發現黃色31°C顏色不易顯現的結果相同。

(二) 感溫粉與顏料混合液變色狀況：

- 1.感溫粉與顏料的混合液，於加熱過程中，會因感溫粉於變色溫度後變淡，而逐漸顯示出顏料的顏色。
- 2.變色結果與顏料本身顏色有些許色差，應是感溫粉變色後未完全透明所致。
- 3.感溫粉本身的顏色變化僅能在變色溫度以上變淡，透過與顏料的混合，能使顏色變化更為豐富漂亮。

五、各類溶劑對感溫粉使用影響討論

本研究將感溫粉與四大類溶劑混合，了解混合後狀態變化及混合液在加熱時的變色狀況，研究討論如下：

(一) 感溫粉與溶劑混合狀態：

- 1.水：感溫粉完全無法均勻散布，會在水的表面形成一層感溫粉膜。
- 2.有機溶劑：混合後形成濃稠液狀，多有刺鼻味，顏色變深接近黑色。
- 3.黏性溶劑：混合後與原黏著劑型態類似，感溫粉均勻分布，隨黏著劑乾燥固定。
- 4.有色溶劑：在廣告顏料中，感溫粉能均勻散布，並與顏料混色。

(二) 感溫粉與溶劑混合液變色狀況：

- 1.變色時間：將混合液加入60°C水，並與前面單純只有感溫粉的實驗結果做對照，彙整如圖6-5-1、6-5-2。由圖可知，感溫粉混合於溶劑中，開始變色時間仍約1~2秒，結束變色時間則會拉長，尤其在有機溶劑中較慢。

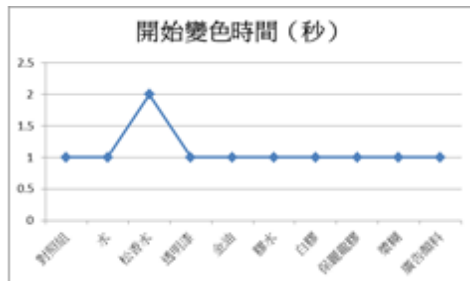


圖 6-5-1 混合液開始變色時間

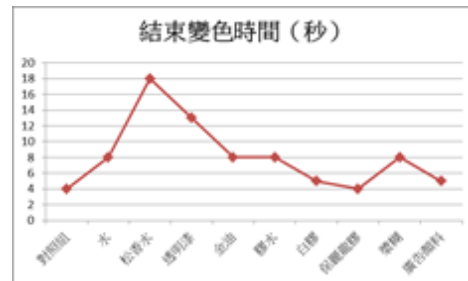


圖 6-5-2 混合液結束變色時間

- 2.變色狀況：在有機溶劑中，變色後顏色較暗而不明顯；而在水及黏著劑中，變色後會呈現淡藍色；在白色顏料中，變色後則會變成一片白色。

六、各類附著面對感溫粉使用影響討論

本研究將感溫粉與溶劑的混合液，作為塗料塗在五大類附著面上，了解附著情形與附著力，研究討論如下：

(一) 各種材質附著面附著狀況：

- 1.紙類：除水及金油做溶劑外，多數溶劑混合的塗料附著情形良好，但有機溶劑做溶劑之塗料容易在紙類上暈開，效果不佳。
- 2.塑膠類：
 - (1) 多數溶劑混合的塗料在乾燥前不易附著，需平放製乾燥後才能附著。

- (2) 水、有機溶劑等溶劑混合的塗料，幾乎完全無法塗上塑膠類。
- (3) 膠水混合的塗料不易塗抹，漿糊混合的塗料可塗抹，但乾了後會整片掉落。
- (4) 白膠和保麗龍膠混合的塗料在塑膠類上附著效果最佳。

3.木質類：除水做溶劑外，多數溶劑混合的塗料附著情形良好。

4.玻璃類：除水及金油做溶劑外，多數溶劑混合的塗料附著情形良好。

5.金屬類：除水及金油做溶劑外，多數溶劑混合的塗料附著情形良好。

(二) 綜合討論：

根據實驗結果顯示，塑膠類材質最難附著，僅白膠和保麗龍膠表現較佳，但保麗龍膠又因黏性過大不易使用，因此建議塑膠類材質以白膠混合感溫粉作為塗料。其餘材質均能讓多數塗料附著，但有機溶劑做成塗料味道刺鼻、顏色過深；顏料混合的塗料乾燥後會裂開；黏著劑則有太黏不易塗抹的缺點，因此建議其他材質可用膠水混合感溫粉作為塗料，但需注意乾燥後再移動使用。

七、感溫粉應用討論

本研究將感溫粉與顏料混色，再混合溶劑作為塗料塗在衣服與奶瓶上，做感溫變色生活用品的運用，研究討論如下：

(一) 感溫變色衣：

1.成效：能依構想製作做出高溫 30°C 以上、低溫 15°C 以下使文字變色的衣服，提醒穿著的人增減衣物。

2.待改進：(1) 顏色變化為漸進式，在 30°C、15°C 時變色狀況仍非最明顯，但氣溫更高或更低時，身體早已感受溫度變化。建議使用溫度介於兩者之間的感溫粉配合顏料做塗料。

(2) 使用膠水作為溶劑，在衣物上仍會暈開，書寫圖案不夠美觀。

(3) 衣物無法洗滌，做成正式商品需考慮塗料的防水性。

(二) 感溫變色奶瓶：

1.成效：能依構想在奶瓶上用感溫粉與白膠塗料塗出驚嘆號圖案，加入 50°C 以上開水，能立即使驚嘆號圖案由紫色變為深桃紅色，提醒水溫過高。

2.待改進：(1) 以白膠作為溶劑的塗料不容易構圖，不易製作較複雜的圖案。

(2) 塗抹白膠仍須平放器具，避免滴落，乾燥後尚能穩定附著於瓶身，但如果摩擦碰撞可能使其受損或掉落。

柒、結論

一、變色杯與感溫粉變色狀況結論：

(一) 變色杯並非在特定溫度點變色，而是隨溫度升高、降低而有更明顯的變色狀況，精確變色溫度範圍較商品標示為大，明顯的變色溫度則與商品標示相近。

(二) 感溫變色材料的變色機制是達特定溫度以上發生褪色，故遇熱變色杯的變色原理應是在感溫材料下印好底色圖案，造成變色；遇冷變色杯則是恢復感溫材料顏色。

(三) 變色杯因需要熱傳導，遇較高溫或較低溫水，開始變色速度較快；感溫粉則幾乎遇熱或遇冷即開始變色。

二、各色感溫粉混合作用結論：

- (一) 感溫粉可如顏料一般進行混色作用，混色結果與顏料調色類似，但黃色 31°C 感溫粉顏色較不易顯現。
- (二) 利用「同溫異色」感溫粉可形成「新顏色感溫粉」；利用「異溫異色」感溫粉可形成「兩段變色感溫粉」；利用「異溫同色」感溫粉可形成「長範圍變色溫度感溫粉」。

三、感溫粉與顏料混合作用結論：

- (一) 藉由膠水輔助，能使感溫粉均勻散布在顏料水溶液中，並具有與一般顏料相似的混色效果，但黃色 31°C 感溫粉顏色較不易顯現。
- (二) 透過與顏料的混色，可讓感溫粉達到特定溫度後不只有褪色效果，還能改變為其他顏色（顏料本身顏色）。

四、感溫粉與溶劑混合塗料及附著面影響結論：

- (一) 水無法作為感溫粉混合用，感溫粉會浮在水面上。
- (二) 感溫粉與有機溶劑混合會形成黑藍色濃稠液狀，具刺鼻味；感溫粉與黏性溶劑、顏料混合後不影響原本顏色及溶劑形態，但黏著劑具黏性。
- (三) 感溫粉與溶劑混合後仍能產生變色反應，開始變色時間仍約 1~2 秒，結束變色時間會增長。
- (四) 塑膠類材質最難讓感溫粉塗料附著，以白膠作為溶劑之混合塗料較能方便塗抹及有效附著。
- (五) 其餘材質能讓多數塗料附著，考量有機溶劑做成塗料有刺鼻味、較黏稠的黏性溶劑做成塗料不易塗抹、顏料做成塗料乾燥後會龜裂，建議採用膠水作為其他材質附著面的塗料溶劑。

五、感溫粉的感溫變色反應可應用於日常生活中做溫度警示的物品：如衣物、奶瓶等，實際運用白膠及膠水為溶劑做成的塗料可達到需求，但缺乏塗料相關知識與研究，使完成之產品無法洗滌、耐久，建議可作為後續研究主題。

捌、參考資料及其他

陳冠廷、陳佳宏、陳宗佑、沈立婷（民 97）。酷筆。第 48 屆全國中小學科展作品。

王致中、林子皓、廖彥銘（民 103）。《擦擦筆大變身》～變色的鼻涕蟲。第 54 屆全國中小學科展作品。

黃鴻博（主編）（民 104）。國民小學自然與生活科技 6 上備課指引。臺南市：南一。

臺北崇裕科技。（無日期）。民 104 年 12 月 3 日。取自：

<http://www.colorchange.com.tw/index.php/tw/thermochromic-material.html>

神奇變色師~感溫粉之照光、酸鹼性探討。（無日期）。民 105 年 12 月 3 日。取自：

<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2014/03/2014031721384319.pdf>

【評語】 080214

本研究探討各種變色杯及感溫變色粉末的變色狀況、時間、溫度範圍，同時利用各色感溫粉的混色，或與顏料的混合，形成多樣的變色情況，有實用性，建議可以先了解廠商是如何將變色粉製成商品。