

# 【2021 全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

## 高中（職）組成果報告表單

題目名稱:溫之色變 - 探討感溫變色粉的反應速率

### 一、摘要

感溫變色產品（如變色馬克杯、變色湯匙、變色項鍊、變色指甲油等）大多以在不同溫度產生顏色變化為主要訴求；也有少數產品以人體溫感為應用情境，有的還可以提供溫度示警、防偽造等功能；這樣的技術確實為我們的生活添加了不少便利與樂趣。只不過，不同的感溫變色產品對溫度的反應快慢不一、反應溫度區間也不同。因此，本研究想透過實驗與操作，探討感溫變色產品所用之感溫變色粉的濃度、顏色、溫度與活化能等對其反應速率的影響。我們希望藉由此研究深化我們的理論知識，瞭解此技術的原理與實用性。我們用光譜儀量測不同濃度樣品的穿透率，從穿透率的變化分析樣品的吸收率，並計算其顏色變化的反應速率。

### 二、探究主題與動機

隨著感溫變色技術的日新月異，市面主打「感溫變色功能」之產品能見度也大幅提昇，玩具、馬克杯、飾品、化妝品等都可以看見感溫變色技術的蹤跡，尤其以化妝品（唇彩、指甲油等）最為常見。在初次普查後我們發現不同材質的產品感溫變色速率不一，我們不禁好奇，究竟「感溫變色功能」是如何運作的、受到哪些因素的影響。因此我們調配濃度相異的變色粉液體，進而計算其反應速率、分析影響其反應的變因。

### 三、探究目的與假設

#### 目的:

- 一、找出實驗組與對照組的反應濃度與波長(預備實驗)
- 二、探討溫度與感溫變色粉反應速率的關係(實驗一)
- 三、探討感溫變色粉顏色與反應速率的變化(實驗二)
- 四、探討感溫變色粉的反應級數與活化能(實驗三)

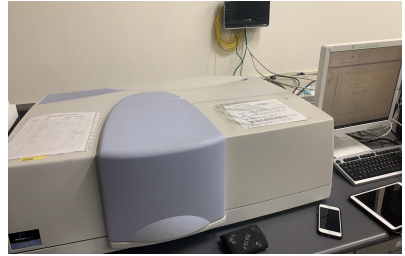
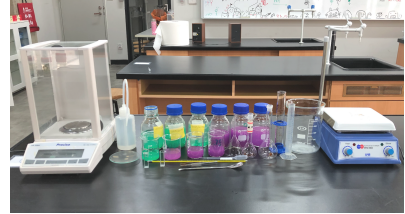
假設:感光變色技術穩定可靠，係成熟技術。本研究假設感溫變色粉與感光變色粉一樣，均遵照一級反應速率，並能以很小的活化能即達到快速變色的效果。

#### 四、探究方法與驗證步驟

實驗數據: <https://tinyurl.com/rawdatasheets>

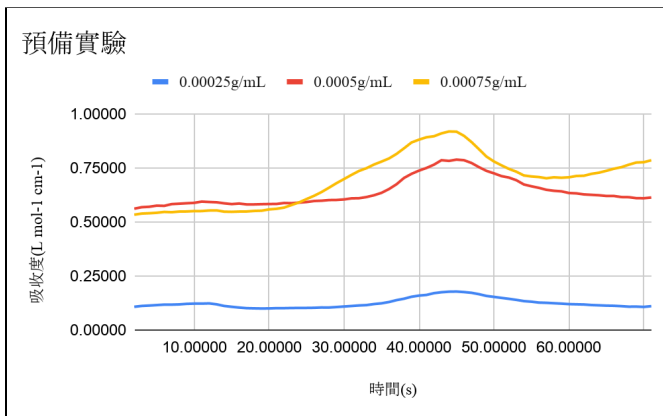
事前準備:

- **器材:** 光譜儀、感溫變色粉(聚醋酸乙烯酯/ $(C_4H_6O_2)_n$ )、蒸餾水、攪拌棒、溫度計、燒杯、刮勺、滴管、樣品罐、電磁加熱攪拌機
- **變因:** 實驗一、二分別以溫度、感溫變色粉顏色為自變數，反應速率為因變數、溶液濃度為控制變數。實驗三則分析反應數率與活化能的關係。



預備實驗、找出實驗組與對照組的溶液濃度與波長

依說明書比例調配並加熱溶液，使其顏色轉變。以飽和溶液之濃度為準，準備兩組較低濃度的溶液20mL為對照組。校準光譜儀後，量測各溶液的穿透率，並找出最佳濃度。本實驗先以0.00025g/mL濃度進行穿透率量測，發現波長變化不明顯(藍色曲線)、再以



0.00075g/mL濃度進行量測，發現60s以後出現起伏，推斷反應後期出現未知反應(黃色曲線)。故最後以兩個濃度平均值 0.0005g/mL作為後續實驗之溶液濃度(紅色曲線)，其曲線與電磁頻譜相符、且變化穩定。

此外，感溫變色粉於不同溫度下所產生的顏色變化僅侷限於特定波長區間

，故我們在預備實驗中量測不同樣品濃度在不同溫度(H: 42°C、M: 24°C、L: 15°C)下的顏色變化波長區間，以利後續分析。

樣品顏色	樣品濃度 (g/mL)	樣品溫度 (°C)	最佳波長區間	樣品顏色	樣品濃度 (g/mL)	樣品溫度 (°C)	最佳波長區間
紫色	0.00025	H(42→38)	542nm-392nm	紫色	0.0005	L(15→18.5)	572nm-458nm
紫色	0.00025	M(24→24)	542nm-470nm	紫色	0.00075	H(42→38)	548nm-470nm
紫色	0.00025	L(15→18.5)	548nm-470nm	紫色	0.00075	M(24→24)	548nm-484nm

紫色	0.0005	H(42→38)	542nm-392nm	紫色	0.00075	L(15→18.5)	554nm-458nm
紫色	0.0005	M(24→24)	542nm-542nm	綠色	0.0005	M(24→24)	650nm-521nm

**實驗一、溫度 vs. 反應速率**

將預備實驗的紫色溶液40mL倒入小燒杯，置於大燒杯中。隔水加熱或冷卻後，以溫度計監測其溫度變化。再將液體調整至各預設溫度，並倒入樣品罐。以光譜儀量測樣品的光譜，並於測量結束時再次紀錄樣品溫度。以不同濃度的溶液，重複上述步驟三次。實驗一針對不同濃度的溶液所測得的溫度與反應速率結果如下：



計算反應速率、反應級數(以紫色溶液 0.00025g/mL、24°C為例)：

1) 找出預備實驗所得的波長區間，分析區間內的樣本穿透率(%T)(取樣率: 1s)

0.132	0.139	0.145	0.155	0.166	0.173	0.177	0.182	0.182	0.192	0.193	0.194	0.196
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

2) 利用公式:  $2 - \log(\%T)$  將穿透率轉換為吸收率(A)

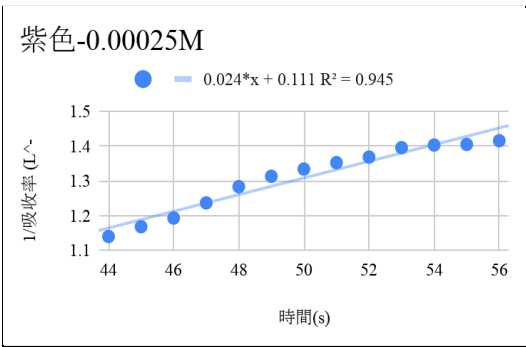
0.877	0.855	0.838	0.808	0.779	0.761	0.749	0.739	0.730	0.716	0.712	0.711	0.706
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

3) 計算吸收率倒數 (1/A)

1.140	1.168	1.193	1.236	1.283	1.313	1.333	1.352	1.368	1.395	1.402	1.404	1.415
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

4) 吸收率 vs. 時間圖

反應速率為吸收率的倒數(1/A)，在反應速率與時間之線性迴歸關係中，若 $R^2$ 趨近於1，則代表其貼合度高。本實驗結果計算可得斜率為  $0.024 (M^{-1}s^{-1})$  之線性迴歸線 ( $y=0.024x+0.111$ )。  $R^2$  為0.945，故研判此樣本為二級反應<sup>1</sup>。



溫度變化	反應速率 ( $M^{-1}s^{-1}$ )-(0.00075g/mL)	反應速率 ( $M^{-1}s^{-1}$ )-(0.0005g/mL)	反應速率 ( $M^{-1}s^{-1}$ )-(0.00025g/mL)
降溫 (H)	0.0296	0.0155	0.155

<sup>1</sup> 零級反應: 吸收率與時間圖表會呈現負斜率直線( $M s^{-1}$ )；一級反應: 吸收率的自然對數與時間圖表會呈現負斜率直線( $s^{-1}$ )；二級反應: 吸收率的倒數(1/A)與時間圖表會呈現正斜率直線( $M^{-1}s^{-1}$ )

恆溫 (M)	0.0187	0.0174	0.024
升溫 (L)	0.0114	0.0228	0.0372

從以上表格可得知：

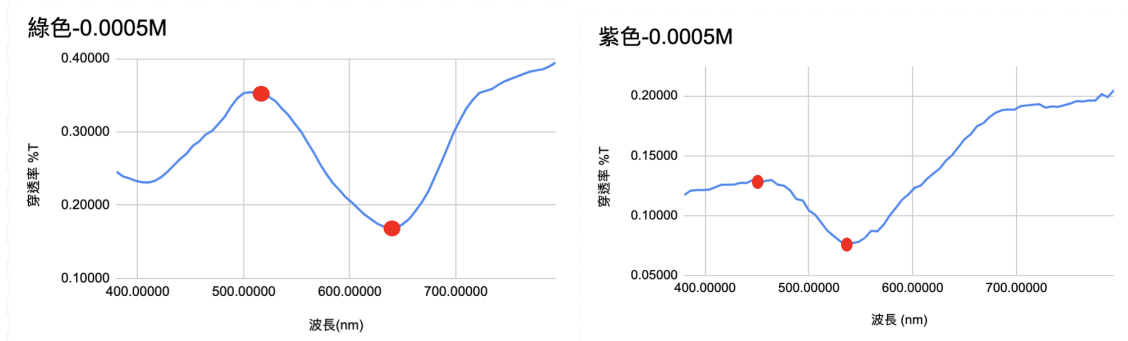
- 1) 濃度0.00025g/mL的反應速率平均明顯高於其他濃度。
- 2) 反應速率在升溫的時候會高於降溫(濃度0.00075g/mL則為相反)。
- 3) 降溫時溶液會變色, 而升溫不會(觀察中皆有發現)。
- 4) 恆溫時0.0005g/mL和0.00075g/mL的反應速率相近。

### 實驗二、感溫變色粉顏色 vs. 反應速率

使用綠色溶液(24°C)重複實驗一的步驟, 計算其反應速率, 並與實驗一的結果進行比較。

實驗結果顯示, 在相同濃度下, 綠色溶液變黃、紫色溶液變粉的反應速率如下：

樣品 (0.0005g/mL)	綠色 → 黃色	紫色 → 粉色
反應速率(M <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> )	0.0479	0.0174



從以上數據可得知：

- 1) 從綠色轉變到黃色的反應速率大於紫色轉變到粉色的反應速率。
- 2) 比較兩者的波長變化, 發現綠色溶液(波長650nm)轉換到黃色(波長512nm)的波長變化比紫色溶液(波長542nm)轉換到粉色(波長452nm)的波長變化來得小, 故顏色變化比較快。

### 實驗三、反應速率 vs. 活化能

依實驗一、二的結果, 使用公式 $\ln(k_1/k_2)=E_a/R((1/T_2)-(1/T_1))$  ( $R=8.314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$ ) 計算活化能(J/mol), 並將活化能除以時間間隔, 找到每秒需要的活化能。分析結果如下：

樣本顏色	樣本溫度與濃度	初始溫度 (T1)	最終溫度 (T2)	初始反應速率 (K1)	最終反應速率 (K2)	活化能
------	---------	-----------	-----------	-------------	-------------	-----

紫色	0.00025 H	42.00000	38.00000	0.17791	0.10680	65.24499
紫色	0.00025 M	24.00000	24.00000	0.87717	0.70649	0.00000
紫色	0.00025 L	15.00000	18.50000	0.96942	0.69800	-15.49685
紫色	0.0005 H	42.00000	38.00000	0.78864	0.60978	32.88199
紫色	0.0005 M	24.00000	24.00000	1.12300	0.88701	0.00000
紫色	0.0005 L	15.00000	18.50000	1.45526	0.95415	-13.93971
紫色	0.00075 H	42.00000	38.00000	0.91888	0.70222	63.84038
紫色	0.00075 M	24.00000	24.00000	1.51601	1.17889	0.00000
紫色	0.00075 L	15.00000	18.50000	2.40500	1.44235	-19.86344

從以上數據可得知：

- 1) 溶液的活化能在恆溫下趨近於零，在升溫的時候為負數，在降溫的時候為正數。
- 2) 以紫色溶液為例，溶液的活化能均小(<70J/mol)，並與濃度無關。

## 五、結論與生活應用

綜合預備實驗與上述三項實驗歸納出以下結論：

- 1) 在預備實驗中，我們先後測試0.00025g/mL溶液與0.00075g/mL溶液，發現0.00025g/mL溶液的吸收率變化不明顯，並非最佳濃度。雖然濃度0.00075g/mL溶液的穿透率在反應初期(25s以前)契合電磁頻譜的顏色，但於反應後期(60s以後)會出現二次上升的情形，故不宜作為最佳濃度。因此，本研究選用0.0005g/mL作為後續實驗溶液濃度。
- 2) 在實驗一中，我們從穿透率和吸收率，推出斜率為0.024 ( $M^{-1}s^{-1}$ )之線性迴歸線 ( $y=0.024x+0.111$ )，且此迴歸線之 $R^2$ 為0.945 ( $R^2$ 愈接近1預測愈準)。故推得樣品的反應速率為二級反應，進而推翻了我們的假設。
- 3) 從實驗一我們總結出濃度會影響反應速率。濃度0.00025g/mL的反應速率遠高於其他樣品，但濃度0.00075g/mL和0.0005g/mL的反應速率(在恆溫下)並無明顯差距。由此可以推測出當到達一定的濃度(0.0005g/mL)時，反應速率會形成一個分界點。降溫和升溫的對照組中亦可以得出相似結論，因為反應速率的走向(以濃度0.00075g/mL為例)與其他對照組相反。

- 4) 實驗二證實了顏色會影響反應速率。因綠色溶液比紫色溶液的波長範圍小，所以反應速率也會相對較快。
- 5) 在實驗三中，由於活性能是介於環境和系統之間的能量，所以本研究以活性能絕對值作為比較依據。從實驗三結果可以得到活性能在不同溫度下的變化情形：當溶液處於降溫狀態時，變色效果最為明顯。升溫時，系統能量也跟著提升(直到臨界點)，故其顏色沒有明顯的變化。反之，降溫時，溶液由高溫降回臨界值，所以顏色變化明顯。恆溫狀態下，因溫度變化極小，故溶液顏色幾乎無改變。

#### 生活應用：

感溫變色粉不僅僅出現在商業化的產品，更被廣泛應用於溫度計、感溫警告、防偽科技、醫療掃描、食品包裝、印碟科技等。此外，新興產業如軍事偽裝塗料以及防偵測科技也是利用了不同感溫變色粉的反應速率及活化能來達成透明無色的偽裝效果。由本研究可知，將感溫變色粉應用於生活中時，感溫變色粉的顏色、濃度都會影響反應速率。從上述三個實驗結果得知，採用0.0005g/mL濃度紫色感溫變色溶液，僅需較小的能量便能獲得明顯的顏色變化(活化能小)，並且可以持續較久。

#### 參考資料

1. 張啟祐：〈感溫變色材料的實驗與設計運用〉，學術論文，嶺東科技大學視覺傳達設計研究所，2012年。<https://hdl.handle.net/11296/fatjb9>
2. Zha, X. et al.(2011) Kinetics of alcoholysis of poly (vinyl acetate). Huaxue Fanying Gongcheng Yu Gongyi/Chemical Reaction Engineering and Technology. 27. 438-442+466.
3. Kelsey Costello et al. Exploration of Thermochromic Materials Using Experimental and Theoretical Infrared and UV–Visible Spectroscopy. Journal of Chemical Education 2014, 91 (6) , 883-888. <https://doi.org/10.1021/ed400578q>
4. Arno Seeboth et al. Thermochromic Polymers—Function by Design. Chemical Reviews 2014, 114 (5) , 3037-3068. <https://doi.org/10.1021/cr400462e>
5. “Experimental Determination of Reaction Rates.” Lumen, Lumen, courses.lumenlearning.com/introchem/chapter/experimental-determination-of-reaction-rates/.