

# 光敏靈發光的探討

## 高中組化學科第三名

台北市立建國高級中學

作者：謝之真、李信宏

黃柏堅、賴柏岑

指導教師：鄭武勇、程恕人

### 一、研究動機

記得高一時，基礎理化實驗手冊（上）中，有光敏靈和氚光棒發光現象的實驗，這種神奇的化學致光反應，深深地打動了我們的心，更激發了我們課餘研究的興趣。

### 二、研究目的

探討溫度、緩衝溶液、醣標值、催化劑濃度及光敏靈濃度等因素，對光敏靈發光的影響。

### 三、研究設備器材

#### (一)研究用器材：

- |         |        |          |
|---------|--------|----------|
| 1. 光度計  | 2. pH計 | 3. 恆溫槽   |
| 4. 天平   | 5. 量瓶  | 6. 攝影機   |
| 7. 錄放   | 8. 螢幕  | 9. 注射筒   |
| 10. 注射針 | 11. 電腦 | 12. 橡皮手套 |
| 13. 面紙  | 14. 烘箱 | 15. 秤量瓶  |

#### (二)研究用藥品：

- |                                                  |                                      |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. 光敏靈 (Luminol)                                 | 3. 雙氧水 ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )    |
| 3. 鐵氰化鉀 ( $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ) | 4. 氫氧化鉀 (KOH)                        |
| 5. 磷酸鉀 ( $\text{K}_3\text{PO}_4$ )               | 6. 磷酸氫鉀 ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ) |
| 7. 磷酸二氫鉀 ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )            | 8. 碳酸鉀 ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ )   |
| 9. 碳酸氫鉀 ( $\text{KHCO}_3$ )                      | 10. 氮氣 ( $\text{N}_2$ )              |

## 四、研究方法

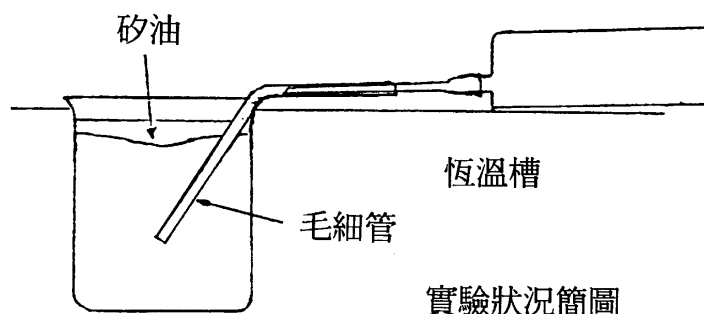
### (一) 研究大綱

1. 先做緩衝溶液下，pH值8~13，溫度 $25^\circ\text{C}$ ~ $75^\circ\text{C}$ 交叉控制的實驗。
2. 取出上步中，發光量較多的九組，再改做無緩衝溶液下的實驗。
3. 取出發光量較多的四組數據，再做催化劑濃度的實驗。
4. 同上四組，做光敏靈濃度的實驗。
5. 討論。
6. 結論。

### (二) 實驗步驟

1. (1) 將光敏靈 (Luminol) 0.25克，溶入適量的緩衝溶液至200毫升，使pH值符合要求。
- (2) 將氮氣通入光敏靈水溶液中約十五分鐘，取40毫升加入50毫升燒杯中，再注入5毫升的矽油 (silicon oil)
- (3) 將燒杯置於恆溫槽中，把彎曲的毛細管一端插入矽油下方，以膠帶固定。
- (4) 以10毫升之針筒取3毫升，0.75M的過氧化氫的溶液及5毫升0.5M鐵化鉀溶液及2毫升氮氣，將針頭插入毛細管之另一端。(如下頁圖。)
- (5) 將光度計之偵測器置於燒杯上方，歸零。
- (6) 將攝影機打開，注射筒推至底，以攝影機記錄光度計之指數變化。

- (7)以錄影機重新播放光度計之指數變化，並記錄。
- (8)以每時刻之光度值輸入電腦，得出總光量、平均光量、發光時間。
- 2.重覆1.之步驟，但(1)中不用緩衝溶液，而改為氫氧化鉀溶液調配。
- 3.重覆2.之步驟，但(4)中鐵 化鉀濃度分別改為0.001M，0.01M，0.1M，0.25M，0.75M，1.00M。
- 4.重覆2.之步驟，但(1)之光敏靈濃度改為0.00001M，0.0001M，0.001M及0.01M。



## 五、實驗結果

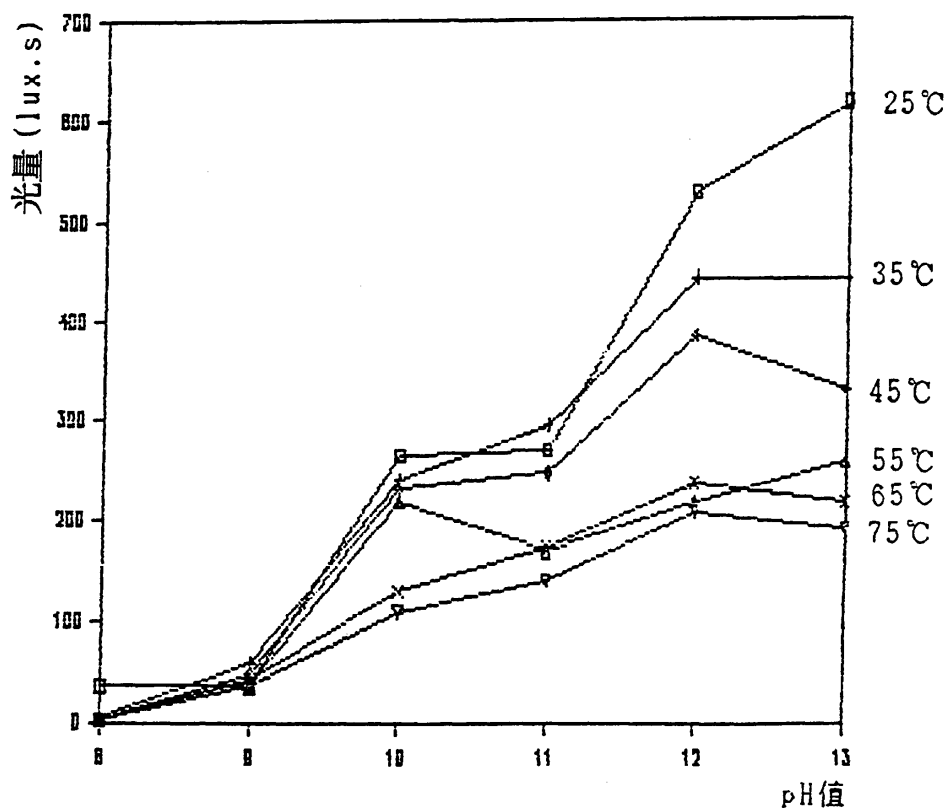
(一)

|         |                                                        |
|---------|--------------------------------------------------------|
| pH = 8  | $\text{H}_2\text{PO}_4^- \text{---} \text{HPO}_4^{2-}$ |
| pH = 9  | $\text{HCO}_3^- \text{---} \text{CO}_3^{2-}$           |
| pH = 10 | $\text{HCO}_3^- \text{---} \text{CO}_3^{2-}$           |
| pH = 11 | $\text{HCO}_3^- \text{---} \text{CO}_3^{2-}$           |
| pH = 12 | $\text{HPO}_4^{2-} \text{---} \text{PO}_4^{3-}$        |
| pH = 13 | $\text{HPO}_4^{2-} \text{---} \text{PO}_4^{3-}$        |

| pH<br>溫度 | 8     | 9     | 10     | 11     | 12     | 13     |
|----------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 25 °C    | 35.63 | 37.44 | 265.48 | 270.57 | 529.53 | 617.87 |
| 35 °C    | 4.22  | 58.06 | 240.07 | 295.51 | 443.57 | 443.70 |
| 45 °C    | 0.71  | 46.89 | 232.91 | 248.29 | 348.55 | 330.82 |
| 55 °C    | 1.15  | 36.14 | 219.42 | 169.51 | 218.55 | 260.00 |
| 65 °C    | 1.98  | 43.25 | 129.44 | 173.42 | 239.26 | 219.87 |
| 75 °C    | 1.85  | 38.27 | 109.07 | 144.33 | 209.72 | 193.25 |

▲緩衝液配方

Buffer: pH vs. Lux\*S



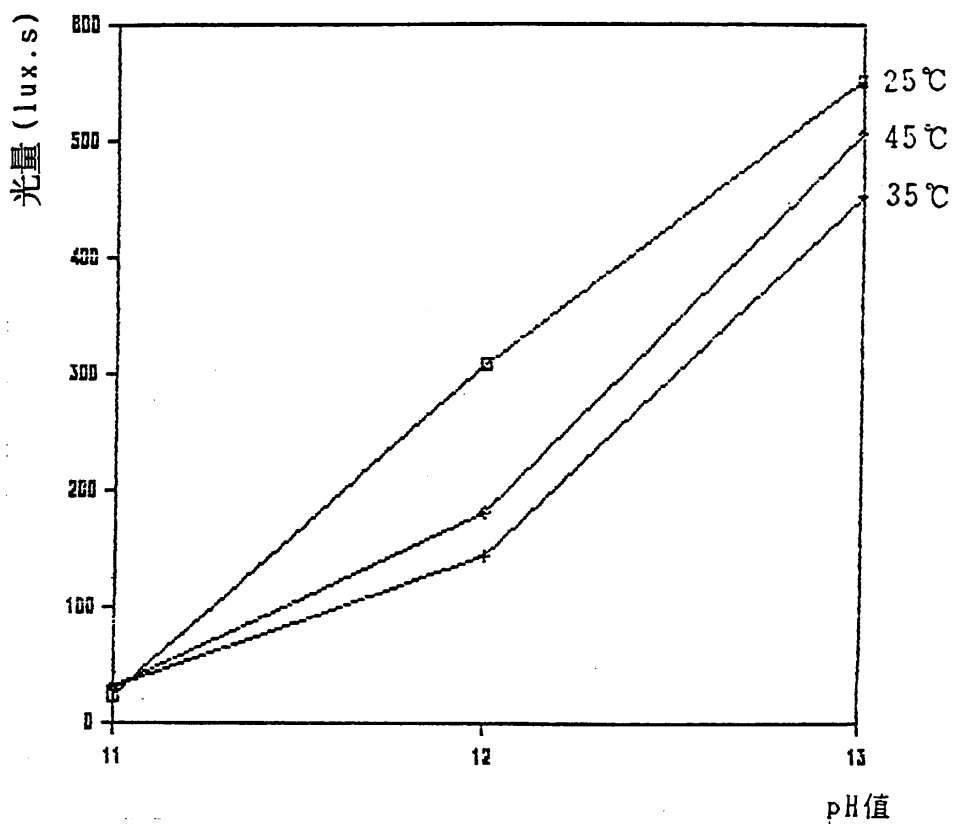
(二)

1. 光量

單位：lux.s

| pH<br>溫度 | 11    | 12     | 13     |
|----------|-------|--------|--------|
| 25 °C    | 23.30 | 308.14 | 553.52 |
| 35 °C    | 29.07 | 173.21 | 455.06 |
| 45 °C    | 3.30  | 181.72 | 508.07 |

# Unbuffer: pH vs. Lux\*S



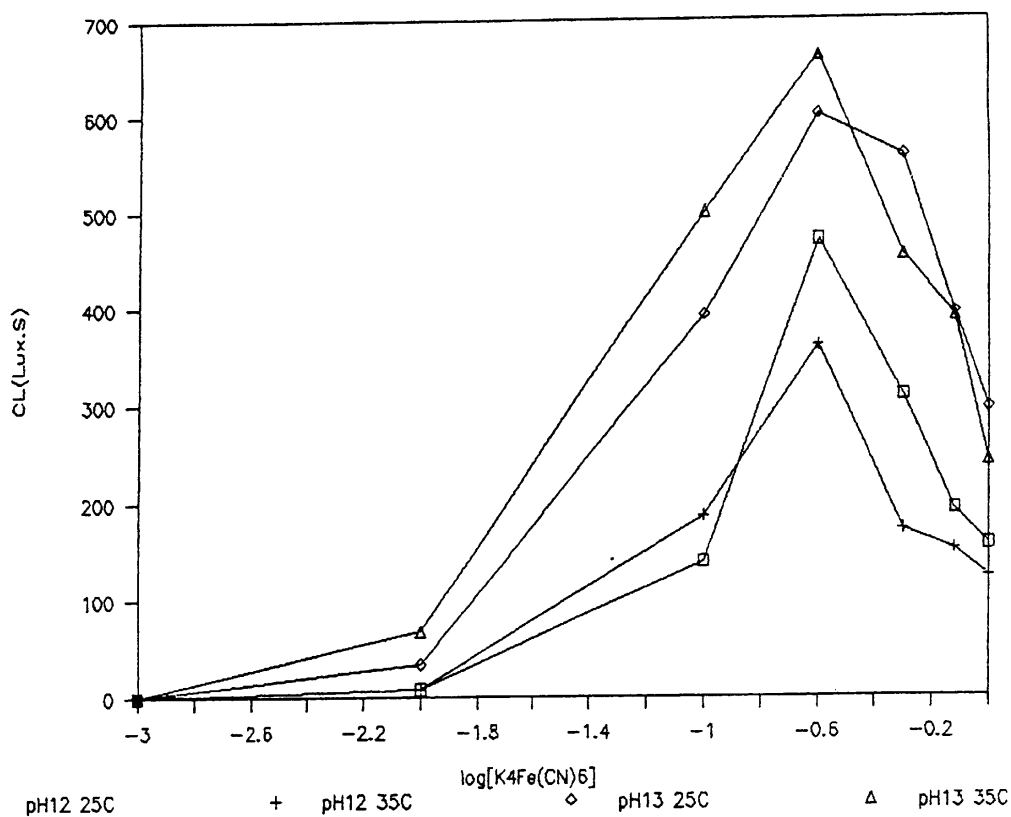
(二)

1. 光量

單位：lux.s

| <div> <div>催化劑濃度(M)</div> <div>溫度</div> </div> |      | 0.001M | 0.01M | 0.10M  | 0.25M  | 0.50M  | 0.75M  | 1.00M  |
|------------------------------------------------|------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| pH值                                            | 25°C | 0      | 8.19  | 139.81 | 470.60 | 309.02 | 193.49 | 157.21 |
|                                                | 35°C | 0      | 8.14  | 186.66 | 361.05 | 173.21 | 152.55 | 124.19 |
| pH13                                           | 25°C | 0.86   | 33.76 | 393.60 | 600.22 | 557.67 | 395.36 | 296.14 |
|                                                | 35°C | 0      | 67.64 | 500.38 | 661.59 | 455.06 | 391.67 | 241.80 |

Conc.vs Lux.s



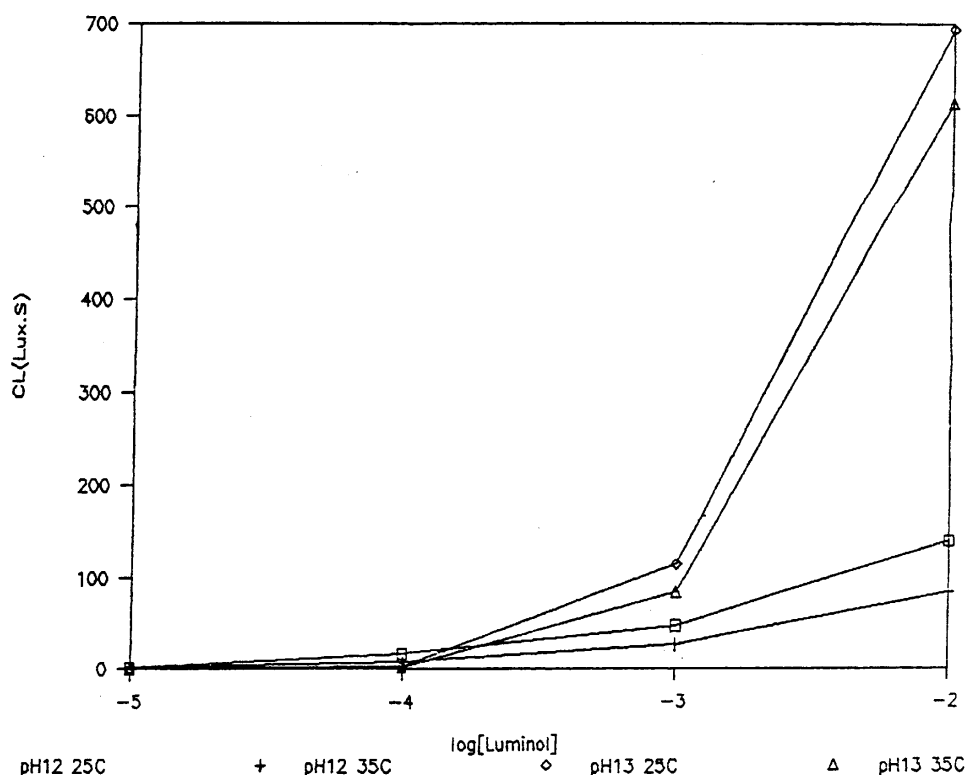
(四)

1. 光量

單位：Lux.s

| 光敏靈<br>溫<br>濃度<br>pH 值 度 |      | 10 <sup>-5</sup> M | 10 <sup>-4</sup> M | 10 <sup>-3</sup> M | 10 <sup>-2</sup> M |
|--------------------------|------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| pH12                     | 25°C | 1.11               | 16.58              | 47.40              | 140.39             |
| pH12                     | 35°C | 1.49               | 7.98               | 27.20              | 85.10              |
| pH13                     | 25°C | 0                  | 3.10               | 114.64             | 642.97             |
| pH13                     | 35°C | 0.26               | 2.40               | 84.43              | 613.84             |

Luminol vs.CL



## 六、討論

(一)由於水中溶氧在反應中，可能會參與反應，為了控制水中氧化劑濃度，本實驗配藥的蒸水皆先通入氮氣約一小時，配藥完畢再通入十五分鐘氮氣，以除去水中大部分溶氧。實驗前並在光敏靈水溶液上覆蓋一層矽油，其目的為隔絕氧氣，及保持實驗環境的封閉。

(二)因為光敏靈 (Luminol) 為一種弱酸， $K_{a1} \sim 10^{-6}$ ， $K_{a2} \sim 10^{-13}$ ，故必須溶於鹼性溶液中，在 $pH \leq 7$ 時，我們發現其溶解度奇差，因此 $pH \leq 7$ 的實驗均不做。

(三)由實驗數據可清楚看出， $pH$ 值升高，則對發光量及單位時間內光量皆有提升的作用，推測因為Luminol分子解離，形成 $Luminol^{2-}$ 離子，被氧化而發光。但Luminol分子的解離取決

於pH值的高低，因此若pH值愈高，則Luminol<sup>2-</sup>離子的濃度也愈高，在其他變因均固定時，單位時間內發光量自然愈大，而Luminol<sup>2-</sup>分子愈多，發光量也必隨之增加。

(四)由實驗結果，我們發現，在有緩衝溶液狀態下，其各別時間差距相當大（本實驗數據皆由三個子數據平均得之），而在無緩衝溶液下，則無此種情形，推測可能是緩衝溶液中的離子會干擾反應的進行，但其原因尚待更進一步的研究。

(五)由實驗結果，溫度升高則發光量及發光時間皆降低，推測：

1. 本反應為放熱反應，依勒沙特列原理，溫度愈高，則愈不利於放熱方向，故溫度上升，發光量降低。
2. 溫度升高，分子碰撞機率升高，反應容易發生，但光敏靈激態分子若被其他分撞擊，可能將其本身能量以分子間動能形式放出，故溫度升高，則光量減低。

(六)由研究結果(3)，催化劑濃度在0.25M時，其發光量值最大，濃度升高或降底，推測其原因有二：

1. 濃度升高，分子碰撞頻升高，由(五)2. 可知，發光量會降低。
2. 若只有上述1. 之影響，則催化劑濃度減低，將使發光延長，發光量增加，但事實上並非如此，因為在本反應中，催化劑會消耗，但當催化劑濃度減低，體積不變時，催化劑份量不足以催化全部的Luminol<sup>2-</sup>離子，使反應進行非常緩慢，無法測得其發光。

由上列二點，可知此兩種效應會互相牽制，影響光量，而造成催化劑濃度為0.25M時，有最大發光值出現。

(七)由改變光敏靈濃度的數據中顯示，當光敏靈濃度為 $10^{-2}$ M及 $10^{-3}$ M時，pH<sub>13</sub>的兩組，光量皆比pH<sub>12</sub>的兩組多，但光敏靈濃度為 $10^{-4}$ M及 $10^{-5}$ M時，pH<sub>12</sub>的兩組光量卻比pH<sub>13</sub>的兩組高，推測可能是，當光敏靈濃度低時，pH<sub>13</sub>及pH<sub>12</sub>狀況下，難解的Luminol<sup>2-</sup>離子數目相差極微，但OH<sup>-</sup>離子數目卻相差近十倍，由於OH<sup>-</sup>離子本身分子量小，只有光敏靈分小及鐵氰化鉀分子之分子量的十分之一及二十分之一，故其效應本就不甚明

顯，只有光敏靈濃度低時，其效應才會顯現，但是以相差比例來看，仍不如光敏靈濃度高時，pH值對其之影響。

## 七、結論

- (一)當pH=8~13，其他變因控制一定狀況下，pH值愈高，則發光量愈大。
- (二)當溫度在25°C~75°C時，其他變因控制一定，溫度愈高，則發光量愈低，愈不利反應發生。
- (三)緩衝溶液中所含的離子會影響發光反應的進行。
- (四)當催化劑濃度在0.001M~1M，其他變因一定，催化劑為0.25 M時，最利於本反應。

## 八、參考書籍

- (一)高中基礎理化實驗手冊(上) 國立編譯館
- (二)“光敏靈發光的六十年” 吳連宗、蘇昭瑾、方泰山  
“化學” 76年6月 45卷 第二期P.A69~A76 中國化學會
- (三)“化學能轉換為光能——新高中基礎理化中——有趣題材”  
方泰山 科學教育月刊 73年3月 68期 科學教育中心
- (四)“化學 第二版”(上)(下) 曾國輝著 藝軒出版社
- (五)Lori L. Klopff and Timothy Nieman, Anal Chem. 55  
1080 (1983)

## 評語

作者對光靈敏發光現象執行一系列之實驗，考慮週詳工作態度認真。作者使用電視攝影機量度發光強度需考慮，偵測器綜性特性及其校正。利用化學動力學原理分析實驗數據尚需進一步探討。