

# 中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 化學科

030202

「分」散，「離」散，好聚好散

學校名稱：新北市立福營國民中學

作者：  國二 幸沛儀  國二 丁采昕  國二 邱顯洋	指導老師：  黃文田  陳永裕
---	-----------------------------

關鍵詞：擴散、分子、離子

## 摘要

本研究主要探討分子與離子在不同溶液中散布情形的差異，將紅墨水與過錳酸鉀滴入不同溶液中，藉由即時錄影的質性分析觀察不同變因下的散布情形，再利用自製感光裝置的量化分析進一步測得散布速率的差異。

研究發現，紅墨水滴入水中的散布情形與容器的截面積大小、落下高度和水溫有關；滴入不同水溶液時，水溶液的密度是影響其前半段時間散布情形的關鍵。研究亦發現，當水溫在 40°C 以上時，過錳酸根離子的散布速率會明顯大於紅墨水色素分子；當紅墨水與過錳酸鉀滴入相同濃度的氯化鈉水溶液時，過錳酸根離子的散布效果也會優於紅墨水分子。

## 壹、研究動機

某一次參加學校的科普活動中，講解的老師在說明擴散作用的簡報中放入了將色素滴入水中的影片。老師將擴散作用的過程以慢動作播放，看見色素分子在水中曼妙舞動的軌跡，當下讓我驚嘆不已。在驚嘆於此畫面的同時，我腦中也冒出了一些疑問：若這些粒子在不同的水溫中，或是落入不同性質的水溶液時，擴散的軌跡會有什麼差異呢？而色素是由分子或離子所組成，又是否會使擴散的軌跡產生不一樣的變化呢？因為這個想法，我決定設計並著手進行實驗以滿足我的好奇之心。

## 貳、研究目的

一、探討紅墨水在不同截面積容器的散布差異

- (一)了解紅墨水落入裝有 100ml 水的 250ml 燒杯中的散布情形
- (二)了解紅墨水落入裝有 100ml 水的 100ml 燒杯中的散布情形
- (三)了解紅墨水落入裝有 100ml 水的 100ml 量筒中的散布情形

二、探討紅墨水在不同高度落下(定溫 30°C)的散布差異

- (一)了解紅墨水由高度 4 公分落入裝有 100ml 水的散布情形
- (二)了解紅墨水由高度 8 公分落入裝有 100ml 水的散布情形
- (三)了解紅墨水由高度 12 公分落入裝有 100ml 水的散布情形

三、探討紅墨水在不同溶液(定溫 30°C)的散布差異

- (一)了解紅墨水落入裝有 100ml 95%酒精水溶液的散布情形
- (二)了解紅墨水落入裝有 100ml 1M、2M、3M 甘油水溶液的散布情形

四、探討分子和離子在不同溫度水中的散布差異

- (一)了解紅墨水落入裝有 100ml 30°C、40°C、50°C、60°C 水的散布情形
- (二)了解過錳酸鉀落入裝有 100ml 30°C、40°C、50°C、60°C 水的散布情形

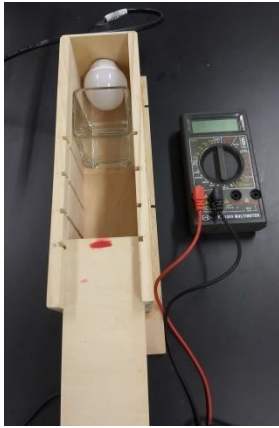

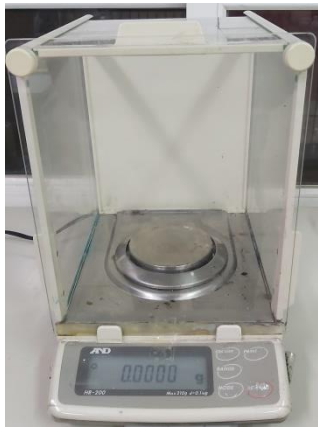

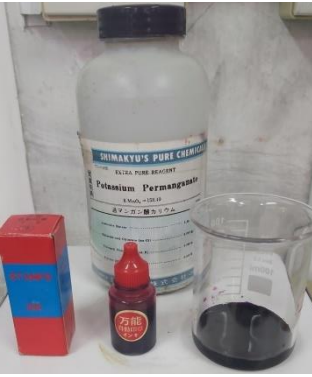

五、探討分子和離子在氯化鈉水溶液(定溫 30°C)中的散布差異

- (一)了解紅墨水落入裝有 100ml 1M、2M 氯化鈉水溶液中的散布情形
- (二)了解過錳酸鉀落入裝有 100ml 1M、2M 氯化鈉水溶液中的散布情形

## 參、研究藥品與器材

研究藥品：紅墨水、過錳酸鉀、酒精、甘油、氯化鈉

研究器材：自製感光裝置、透明方形玻璃杯、相機、腳架、雷射筆、光敏電阻、三用電表、電子天平、計時器

名稱	自製感光裝置	相機、腳架	電子天平
照片			
名稱	透明方形玻璃杯	紅墨水和過錳酸鉀	蒸餾水製造機
照片			

## 肆、研究過程與方法

### 一、研究原理與相關資料

#### (一)擴散現象與布朗運動

擴散(diffusion)是由於粒子(原子、分子及離子等)的無規則運動(熱運動)而產生從高濃度區域向低濃度區域轉移的遷移現象。擴散主要是由於空間中兩區域粒子的密度差所引起的，粒子彼此碰撞並不斷的移動，直到粒子在兩區域中均勻分佈的現象。

懸浮微粒在液體中所做的無規則運動(random movement)，其運動的快慢與方向在每一瞬間不斷改變，而觀察到呈現折線形式的運動軌跡，此種現象稱為布朗運動(Brownian motion)。布朗運動的產生原因是液體中的懸浮微粒受到液體分子碰撞後，懸浮微粒在力的不平衡下造成的移動。液體分子永不停息的無規則運動是產生布朗運動基本原因，懸浮微粒一連串的布朗運動最後造成擴散現象，使懸浮微粒均勻分散在液體中。影響布朗運動的常見因素為顆粒的大小與溫度的高低，顆粒越大，布朗運動越不明顯；溫度越高，布朗運動越激烈。

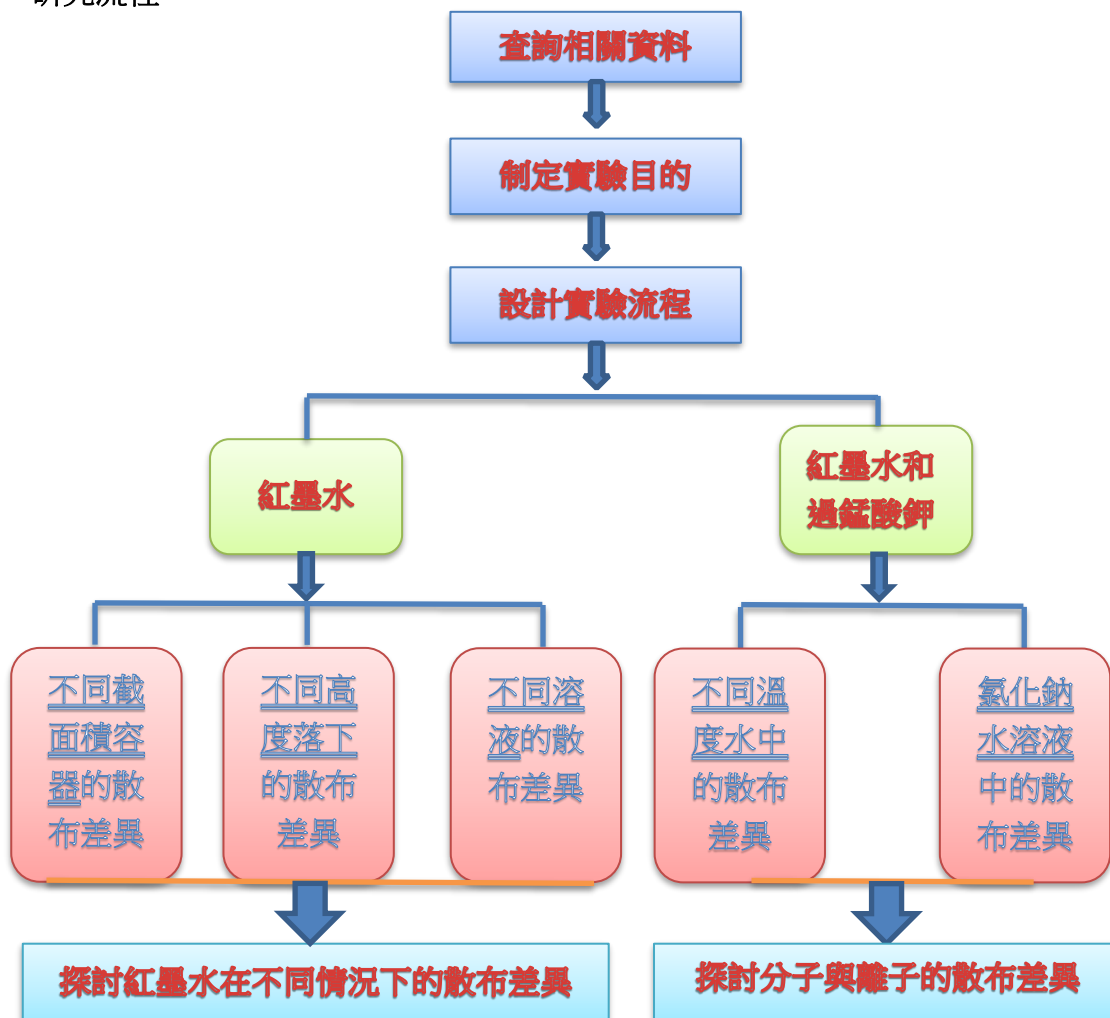
## (二)對流

對流可藉由「液體的流動」或「較高溫粒子的集體移動到物質中較低溫區域」兩種方式發生。對流以兩種形式進行：自然對流與強迫對流。**自然對流**的發生，是因為熱源周圍的液體吸收熱量後體積膨脹，其密度降低並且上升，周遭較冷液體則產生移動以取代液體原有的位置，其後流進來的較冷液體被加熱後，再度造成流動，該過程不斷重複。驅動自然對流的主要動力是浮力，當系統受到重力或其他力量影響產生加速度時，流體密度上的差異導致重量上的差異，進一步造成浮力。相對的，**強迫對流**則利用幫浦、風扇或其他機具介入，利用人工的方式推動液體，使其流動。本研究將紅墨水與過錳酸鉀滴入不同水溶液中，其過程屬於某種程度上的強迫對流。

## (三)瑞利-泰勒不穩定性(Rayleigh-Taylor instability)

墨水的密度比水大，當我們把密度較大的液體擺放在密度較小的液體上方時，任何一個小小的擾動，都很容易驅使上方的液體侵入下方的液體中。可是因為這些液體都是不可壓縮的，所以受到「侵犯」的低密度液體會因被排擠的結果而往兩側流開。因為這個緣故而導致的對流，也會順便把一部份入侵的高密度液體帶走。這樣的過程反覆幾次之後就造成了我們所看到的墨水量開來的現象，此機制極易受到密度差異的影響，且密度差異越大時擴散越快。

## 二、研究流程



### 三、研究過程與結果

[前置實驗]：確認各項實驗數據和變因的穩定性

(一)將紅墨水置入 10ml 量筒中量測其質量，重複 5 次求平均值，密度約  $\approx 1.05 \text{ g/cm}^3$ 。

(二)將燒杯置於電子秤上並歸零，用滴瓶滴入一滴紅墨水，每滴入一滴便歸零一次，滴入十滴並記錄每一滴的質量，其質量約為  $0.0370 \pm 0.003 \text{ g}$ 。

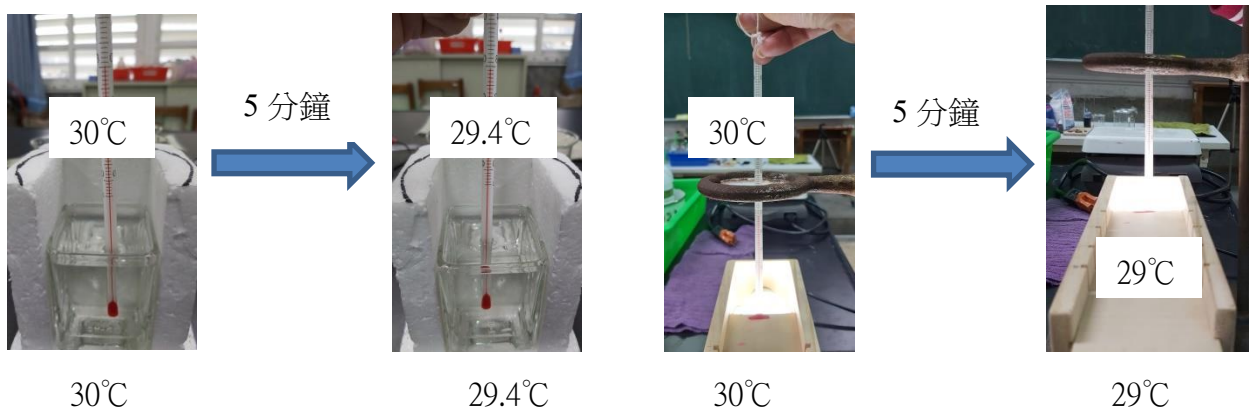
(三)調配過錳酸鉀水溶液使其密度約  $\approx 1.05 \text{ g/cm}^3$ 。

(四)將過錳酸鉀水溶液裝入與紅墨水相同滴瓶，經測試每一滴質量亦約為  $0.0370 \pm 0.003 \text{ g}$ 。

(五)調配實驗用所需水溶液並量測其密度( $\text{g/cm}^3$ )：

蒸餾水	95%酒精	1M 甘油	2M 甘油	3M 甘油	1M 食鹽	2M 食鹽
D=1.00	D=0.80	D=1.03	D=1.04	D=1.06	D=1.02	D=1.04

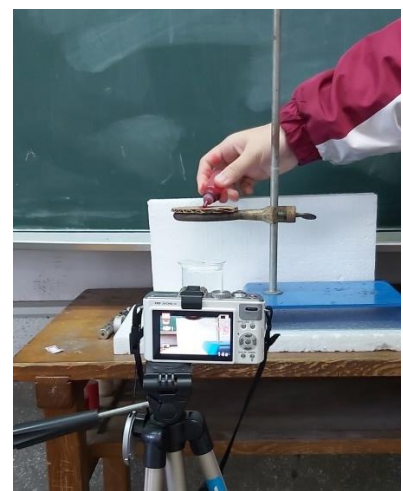
(六)檢測自製裝置降溫情形：方形玻璃杯置於裝置中 5 分鐘降溫情形不甚明顯。



[實驗 A]：探討紅墨水滴入不同截面積容器的散布差異

(一)實驗步驟：

- 1.將 100ml 的蒸餾水(30°C)置於 250ml 燒杯中，用雷射筆定位將滴瓶於離水面高度 6 公分處滴入 1 滴紅墨水並即時錄影，紀錄紅墨水在水中的散布情形，**重複步驟錄影三次**，擷取其中二次影像呈現。
- 2.重複上述步驟，改為將滴瓶內的紅墨水在相同高度下滴入 100ml 燒杯 與 100ml 量筒中，並比較其差異。





(二)實驗結果：如表 A-1~A-3 所示。

- 1.由錄影畫面可見紅墨水滴入 250ml 燒杯中時，由於水的深度較淺，墨水迅速到達底部後彈升再暈開布滿整杯水；紅墨水滴入 100ml 燒杯中時，墨水沉降所費時間較長，降至底部後彈升的高度有限，因此布滿整杯水耗時較長；而紅墨水滴入 100ml 量筒中時，由於容器截面積小，墨水沉降過程中色素分子就布滿所經之處整個水平面，迅速染紅 100ml 的水。
- 2.散布快慢：100ml 量筒 > 250ml 燒杯 > 100ml 燒杯。

表 A-1-1 100ml 的蒸餾水置於 250ml 燒杯中滴入紅墨水每隔 20 秒的散布情形









20 秒	40 秒	60 秒	80 秒
			
100 秒	120 秒	140 秒	160 秒
			

表 A-1-2 100ml 的蒸餾水置於 250ml 燒杯中滴入紅墨水每隔 20 秒的散布情形









20 秒	40 秒	60 秒	80 秒
			
100 秒	120 秒	140 秒	160 秒
			

表 A-2-1 100ml 的蒸餾水置於 100ml 燒杯中滴入紅墨水每隔 20 秒的散布情形









20 秒	40 秒	60 秒	80 秒
			
100 秒	120 秒	140 秒	160 秒
			

表 A-2-2 100ml 的蒸餾水置於 100ml 燒杯中滴入紅墨水每隔 20 秒的散布情形









20 秒	40 秒	60 秒	80 秒
			
100 秒	120 秒	140 秒	160 秒
			

表 A-3-1 100ml 的蒸餾水置於 100ml 量筒中滴入紅墨水每隔 20 秒的散布情形

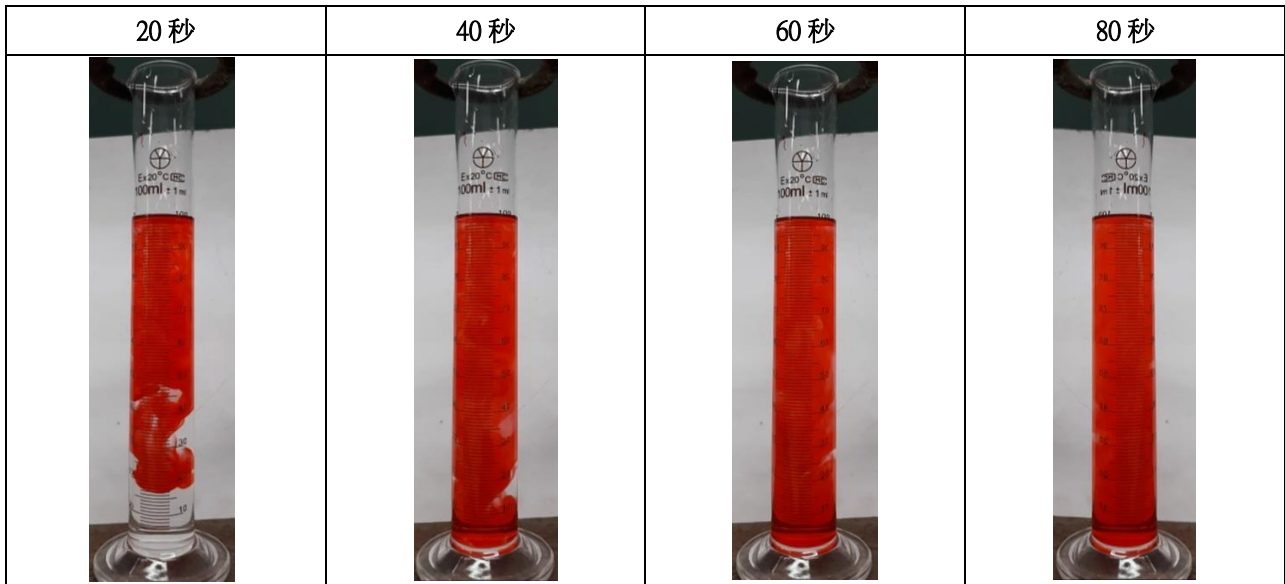
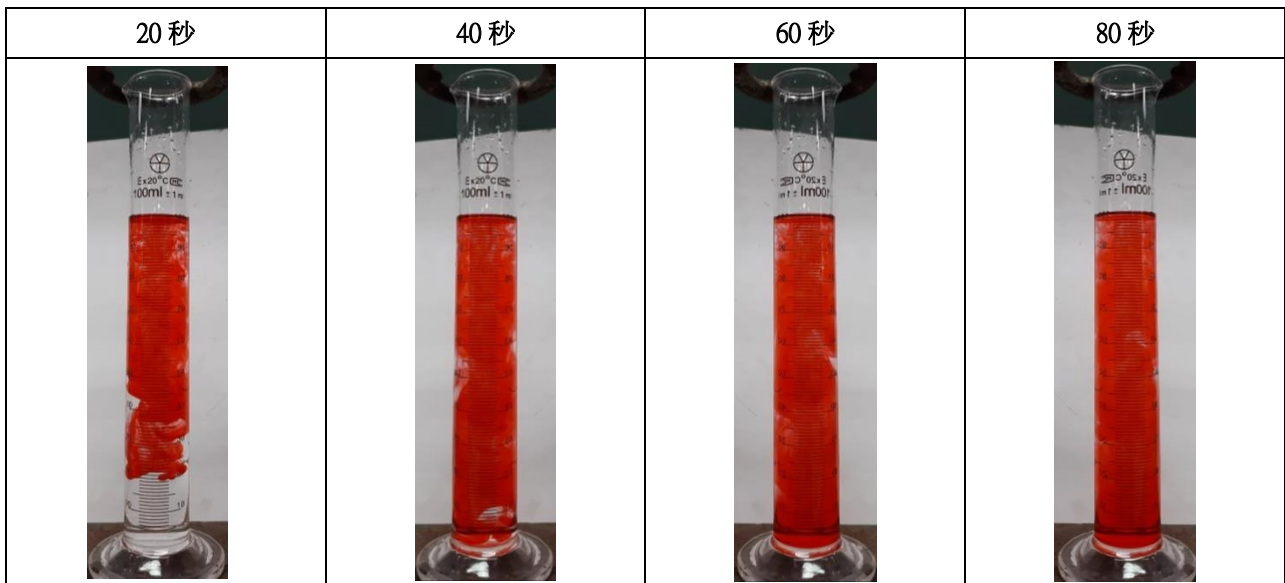


表 A-3-2 100ml 的蒸餾水置於 100ml 量筒中滴入紅墨水每隔 20 秒的散布情形

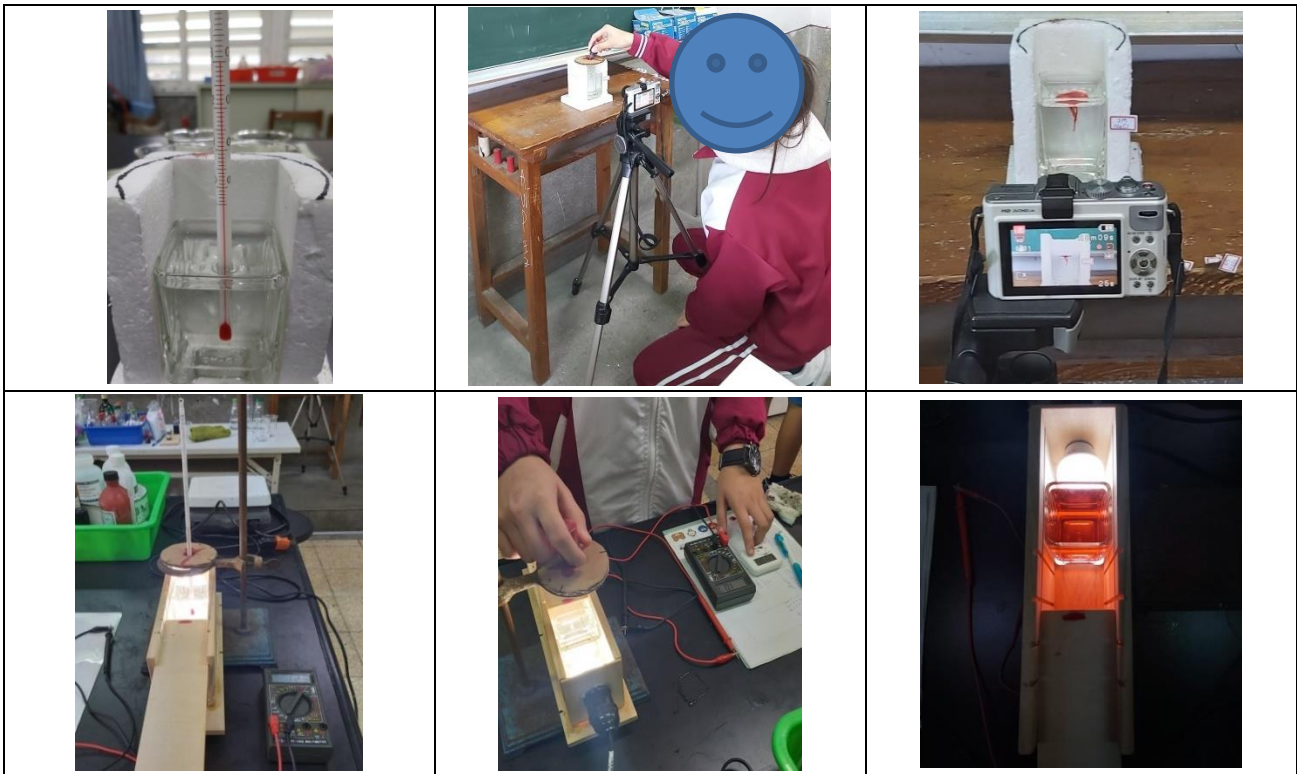


**[實驗 B]：探討紅墨水在不同高度落下的散布差異**

(一)實驗步驟：

- 1.將 100ml 的蒸餾水(30°C)置於透明的方形玻璃杯中，用雷射筆定位將滴瓶於離水面高度 4 公分處滴入 1 滴紅墨水並即時錄影，紀錄紅墨水在水中的散布情形，**重複步驟錄影三次**，因篇幅有限，擷取其中一次影像呈現。
- 2.重複上述步驟，將滴瓶高度改為 8 公分和 12 公分，比較紅墨水的散布差異。
- 3.將方形玻璃杯中 100ml 的蒸餾水(30°C)置於自製感光裝置中，調整三用電表的電阻檔次至 20kΩ，開燈並記錄**初始電阻值**。用雷射筆定位將滴瓶於離水面高度 4 公分處滴入 1 滴紅墨水後關上上蓋，每隔 20 秒紀錄其電阻值，持續 300 秒。之後用玻璃棒攪拌溶液使紅墨水在杯中完全擴散，量測完全擴散後的電阻值，以確認滴入紅墨水的量約略相同。
- 4.重複步驟 3，將滴瓶高度改為 8 公分和 12 公分，比較紅墨水的散布差異。





(二)實驗結果：如表 B-1~B-6 與圖 B-1~B-2 所示。

- 1.由錄影畫面可觀察到當紅墨水由 12 公分處滴入杯中時，由於落入水中的速度較其他兩者為快，下沉過程的紅色區域呈現**較窄的帶狀分布**，墨水迅速到達底部後彈升暈開布滿整杯水；紅墨水由 4 公分處滴入杯中，下沉速度較慢且紅色區域**分布範圍較廣**，到達底部後的彈升情形較不明顯，擴散較慢；而紅墨水由 8 公分處滴入杯中的散布情形介於前兩者之間。
- 2.進一步利用自製感光裝置將紅墨水滴入的散布情形進行量化分析，由表 B-4 數據顯示，在相同時間內 12 公分落下的光敏電阻值較其他兩者高，表示在相同時間內紅墨水色素分子散布較快，所造成的遮蔽相對較多，三種情形散布速率快慢為 12 公分 > 8 公分 > 4 公分。
- 3.由表 B-5 和圖 B-1 可見光敏電阻值( $k\Omega$ )隨時間的變化情形，顯示三種情形在前 20 秒時水中受到的擾動較大，滴落到水面時的速率愈快(12 公分)，紅墨水分子的散布也愈快；約略前 120 秒都有明顯的散布(圖形的斜率較大)，120 秒之後的擴散現象變的較為緩慢。
- 4.由表 B-6 和圖 B-2 可進一步看出紅墨水由 12 公分滴落在水的散布速率快於其他兩種情形主要在於前 1 分鐘內所受的擾動所造成。

表 B-1 100ml 蒸餾水置於方形玻璃杯中高度 4 公分處滴入紅墨水每隔 20 秒的散布情形











20 秒	40 秒	60 秒	80 秒	100 秒
				
120 秒	140 秒	160 秒	180 秒	200 秒
				

表 B-2 100ml 蒸餾水置於方形玻璃杯中高度 8 公分處滴入紅墨水每隔 20 秒的散布情形











20 秒	40 秒	60 秒	80 秒	100 秒
				
120 秒	140 秒	160 秒	180 秒	200 秒
				

表 B-3 100ml 蒸餾水置於方形玻璃杯中高度 12 公分處滴入紅墨水每隔 20 秒的散布情形











20 秒	40 秒	60 秒	80 秒	100 秒
				
120 秒	140 秒	160 秒	180 秒	200 秒
				

表 B-4 不同高度滴入紅墨水時裝置中測得的光敏電阻值(kΩ)

電阻值 時間	紅墨水由 4 公分高滴入	紅墨水由 8 公分高滴入	紅墨水由 12 公分高滴入
0 秒	1.12	1.12	1.12
20 秒	1.33	1.35	1.38
40 秒	1.35	1.38	1.41
60 秒	1.37	1.39	1.43
80 秒	1.39	1.40	1.45
100 秒	1.41	1.42	1.46
120 秒	1.42	1.43	1.46
140 秒	1.42	1.44	1.46
160 秒	1.42	1.44	1.47
180 秒	1.42	1.44	1.47
200 秒	1.43	1.45	1.47
220 秒	1.43	1.45	1.47
240 秒	1.43	1.45	1.48
260 秒	1.43	1.45	1.48
280 秒	1.43	1.45	1.48
300 秒	1.43	1.45	1.48
完全擴散	1.61	1.60	1.60

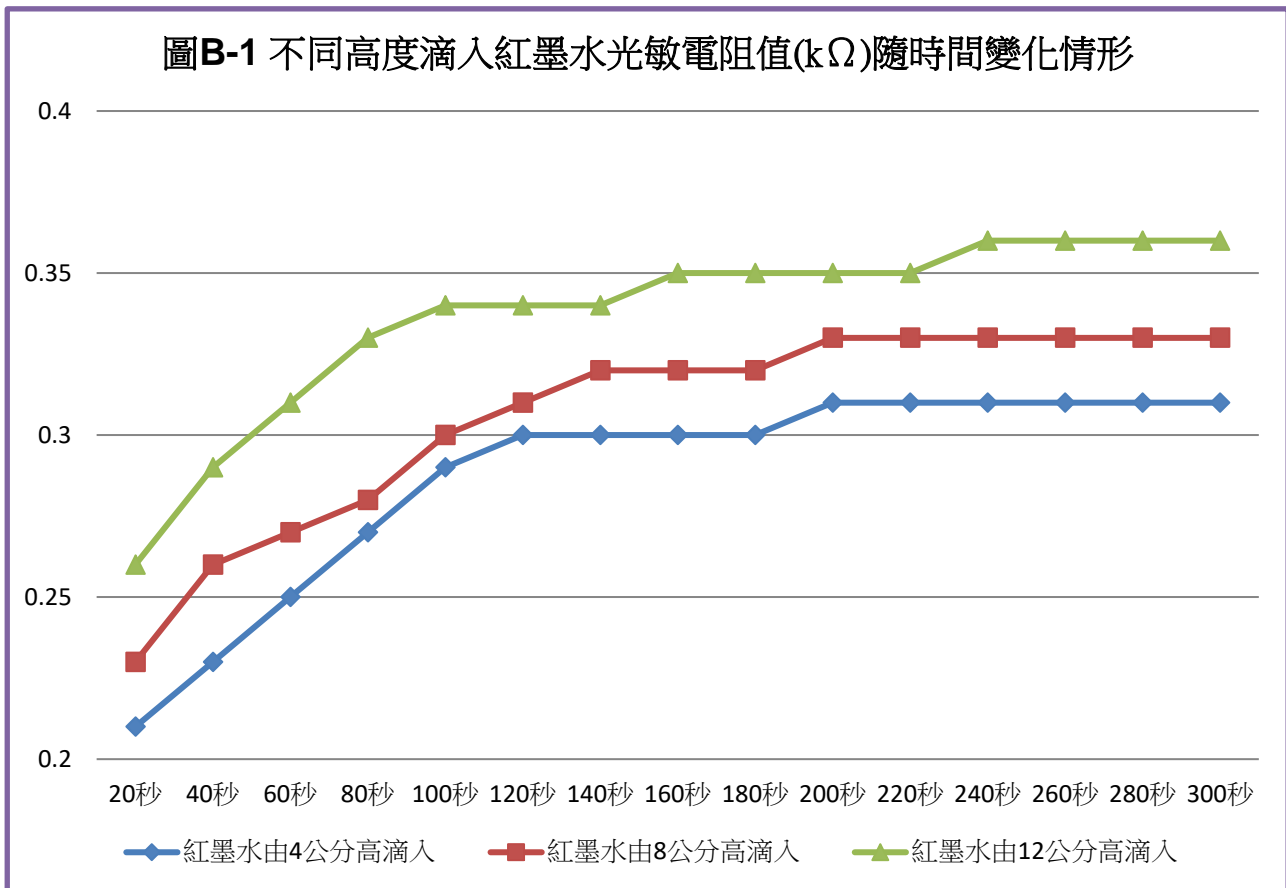
表 B-5 不同高度滴入紅墨水時裝置中的光敏電阻值(kΩ)隨時間變化情形

電阻值 時間	紅墨水由 4 公分高滴入	紅墨水由 8 公分高滴入	紅墨水由 12 公分高滴入
20 秒	0.21	0.23	0.26
40 秒	0.23	0.26	0.29
60 秒	0.25	0.27	0.31
80 秒	0.27	0.28	0.33
100 秒	0.29	0.3	0.34
120 秒	0.3	0.31	0.34
140 秒	0.3	0.32	0.34
160 秒	0.3	0.32	0.35
180 秒	0.3	0.32	0.35
200 秒	0.31	0.33	0.35
220 秒	0.31	0.33	0.35
240 秒	0.31	0.33	0.36
260 秒	0.31	0.33	0.36

280 秒	0.31	0.33	0.36
300 秒	0.31	0.33	0.36

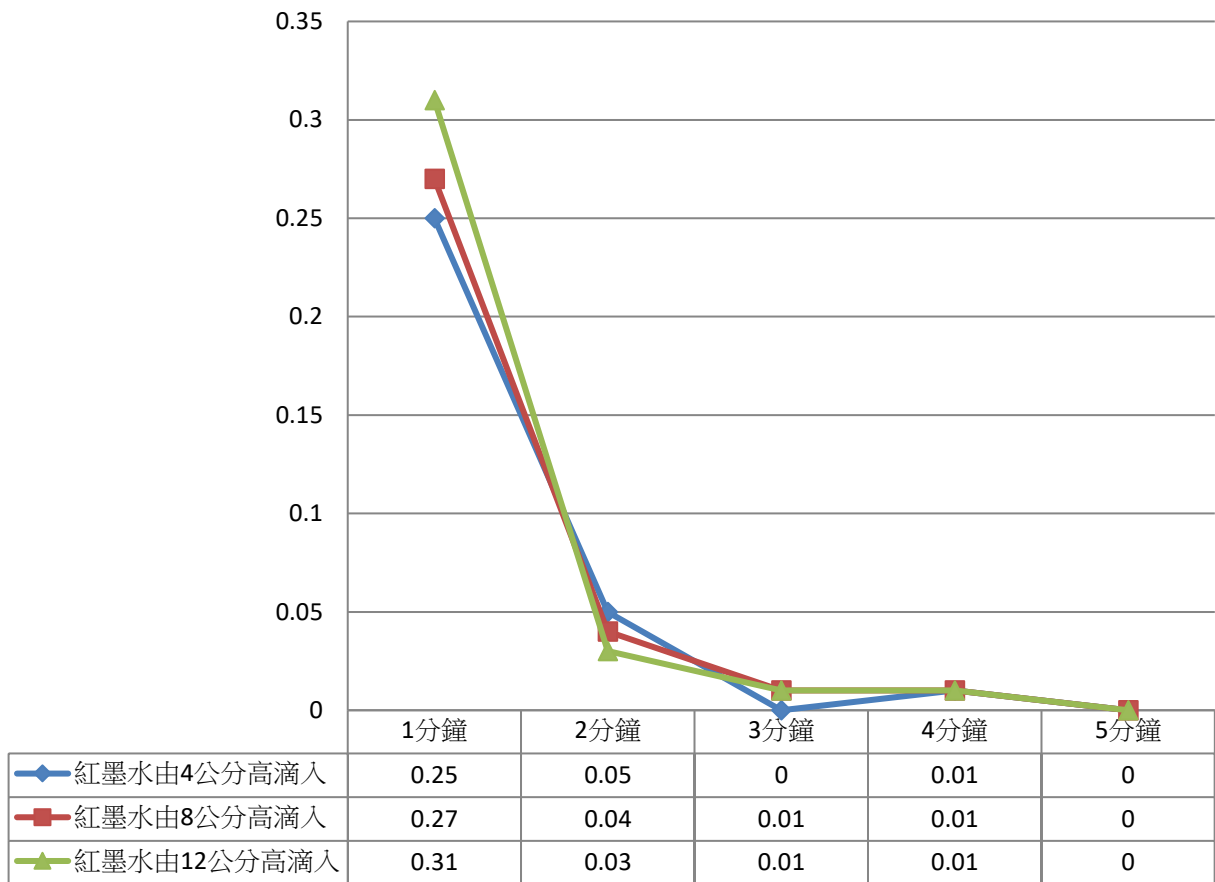
表 B-6 不同高度滴入紅墨水時裝置中的光敏電阻值變化速率(kΩ/min)

電阻值 時間	紅墨水由 4 公分高滴入	紅墨水由 8 公分高滴入	紅墨水由 12 公分高滴入
第 1 分鐘	0.25	0.27	0.31
第 2 分鐘	0.05	0.04	0.03
第 3 分鐘	0	0.01	0.01
第 4 分鐘	0.01	0.01	0.01
第 5 分鐘	0	0	0





圖B-2 不同高度滴入紅墨水時光敏電阻值每分鐘變化速率



[實驗 C]：探討紅墨水在不同溶液中的散布差異

(一)實驗步驟：

- 1.將 100ml 95%的酒精(30°C)置於方形玻璃杯中，用雷射筆定位將滴瓶於離水面高度 4 公分處滴入 1 滴紅墨水並即時錄影，紀錄紅墨水在水中的散布情形，**重複步驟錄影三次**，因篇幅有限，擷取其中一次影像呈現。
- 2.重複上述步驟，將溶液改為 1M 甘油、2M 甘油和 3M 甘油，比較紅墨水的散布差異。
- 3.將方形玻璃杯中 100ml 的酒精(30°C)置於自製感光裝置中，調整三用電表的電阻檔次至 20k  $\Omega$ ，開燈並記錄初始電阻值。用雷射筆定位將滴瓶於離液面高度 4 公分處滴入 1 滴紅墨水後關上上蓋，每隔 20 秒紀錄其電阻值，持續 300 秒。之後用玻璃棒攪拌溶液使紅墨水在杯中完全擴散，量測完全擴散後的電阻值，以確認滴入紅墨水的量約略相同。
- 4.重複步驟 3，將溶液改為 1M 甘油、2M 甘油和 3M 甘油，比較紅墨水的散布差異。

(二)實驗結果：如表 C-1~C-7 與圖 C-1~C-2 所示。

- 1.由錄影畫面可見紅墨水滴入 95%酒精水溶液時，大量色素分子便迅速沉降於杯底未彈升，只餘少數分子懸浮於酒精溶液中，難以完全擴散。
- 2.由擷取影像可見紅墨水滴入 1M 甘油水溶液時，其下沉速度明顯比落入蒸餾水中慢，沉降過程中的紅色區域範圍大，沉降至底部時的彈升情形不明顯；紅墨水滴入 2M 甘油水溶液

時，下沉速度更慢，沉降一開始紅色區域範圍小，而後逐漸由上而下全面擴散，沉降至底部後幾乎未彈升；紅墨水滴入 3M 水甘油溶液時，短暫停留於液面散開，而後便在整個液面緩降擴散，散布速率最為緩慢。

3. 進一步利用自製感光裝置將紅墨水滴入的散布情形進行量化分析，表 C-5 顯示紅墨水滴入蒸餾水的前 100 秒，散布速率比甘油水溶液快，而後散布就變得緩慢。在 100 秒之後，1M 甘油的散布範圍便高過於蒸餾水且持續提升。2M 和 3M 甘油水溶液的散布雖然較慢，但在 300 秒時，紅墨水的散布情形皆高過於蒸餾水。
4. 由表 C-6 與圖 C-1 可看出光敏電阻值( $k\Omega$ )隨時間的變化情形，前 20 秒數據顯示紅墨水的散布情形明顯受到水溶液的密度影響。**酒精**密度太小造成色素分子沉降於杯子底部，**3M 甘油**密度大於紅墨水造成色素分子短暫停留於液面，色素散布情形較不明顯。100 秒之後蒸餾水與酒精的電阻值變化緩慢，而色素分子在不同濃度的甘油水溶液擴散情形仍不斷提升，尤其是 3M 甘油，在 120 秒之後的擴散現象較其他四者有更顯著的變化。
5. 由表 C-7 和圖 C-2 可進一步看出前 2 分鐘紅墨水色素分子在 1M 甘油的散布速率較快，3~5 分鐘時 3M 甘油的擴散速率便超越了 1M 甘油。

表 C-1 95%的酒精 100ml(30°C)置於方形玻璃杯中滴入紅墨水每隔 20 秒的散布情形




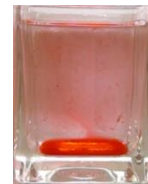
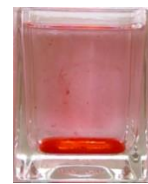



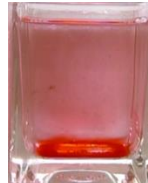
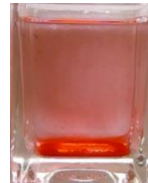
20 秒	40 秒	60 秒	80 秒	100 秒
				
120 秒	140 秒	160 秒	180 秒	200 秒
				

表 C-2 1M 的甘油 100ml(30°C)置於方形玻璃杯中滴入紅墨水每隔 20 秒的散布情形











20 秒	40 秒	60 秒	80 秒	100 秒
				
120 秒	140 秒	160 秒	180 秒	200 秒
				

表 C-3 2M 的甘油 100ml(30°C)置於方形玻璃杯中滴入紅墨水每隔 20 秒的散布情形











20 秒	40 秒	60 秒	80 秒	100 秒
				
120 秒	140 秒	160 秒	180 秒	200 秒
				

表 C-4 3M 的甘油 100ml(30°C)置於方形玻璃杯中滴入紅墨水每隔 20 秒的散布情形











20 秒	40 秒	60 秒	80 秒	100 秒
				
120 秒	140 秒	160 秒	180 秒	200 秒
				

表 C-5 紅墨水滴入 100ml 不同溶液(30°C)裝置中測得的光敏電阻值(k $\Omega$ )

電阻值 時間	蒸餾水	95%酒精	1M 甘油	2M 甘油	3M 甘油
0 秒	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12
20 秒	1.33	1.21	1.26	1.24	1.20
40 秒	1.35	1.22	1.31	1.27	1.21
60 秒	1.37	1.23	1.36	1.31	1.22
80 秒	1.39	1.24	1.39	1.33	1.23
100 秒	1.41	1.25	1.42	1.35	1.24
120 秒	1.42	1.26	1.44	1.38	1.26
140 秒	1.42	1.26	1.46	1.39	1.30
160 秒	1.42	1.27	1.47	1.41	1.33

180 秒	1.42	1.27	1.48	1.43	1.36
200 秒	1.43	1.27	1.49	1.45	1.38
220 秒	1.43	1.28	1.49	1.46	1.40
240 秒	1.43	1.28	1.49	1.46	1.42
260 秒	1.43	1.28	1.49	1.47	1.44
280 秒	1.43	1.29	1.49	1.47	1.46
300 秒	1.43	1.29	1.49	1.48	1.48
完全擴散	1.61	1.61	1.62	1.62	1.63

表 C-6 紅墨水滴入 100ml 不同溶液(30°C)裝置中的光敏電阻值(k $\Omega$ )隨時間變化情形

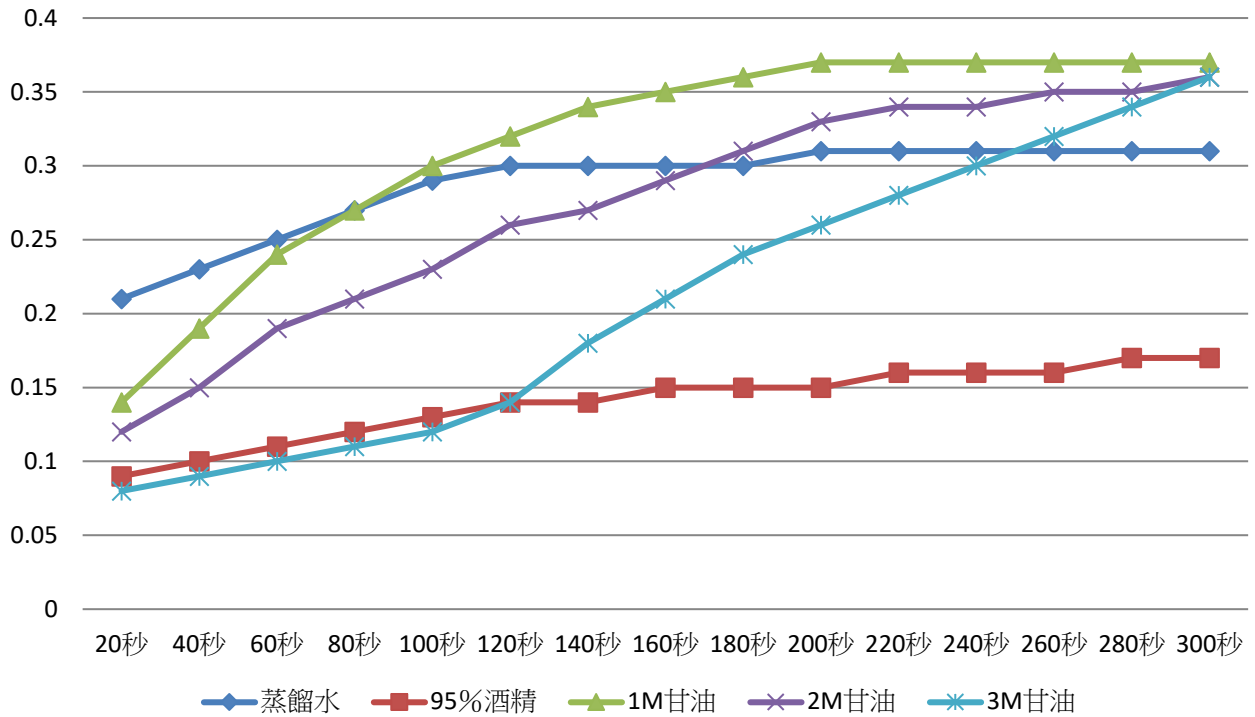
電阻值 時間	蒸餾水	95%酒精	1M 甘油	2M 甘油	3M 甘油
20 秒	0.21	0.09	0.14	0.12	0.08
40 秒	0.23	0.1	0.19	0.15	0.09
60 秒	0.25	0.11	0.24	0.19	0.1
80 秒	0.27	0.12	0.27	0.21	0.11
100 秒	0.29	0.13	0.3	0.23	0.12
120 秒	0.3	0.14	0.32	0.26	0.14
140 秒	0.3	0.14	0.34	0.27	0.18
160 秒	0.3	0.15	0.35	0.29	0.21
180 秒	0.3	0.15	0.36	0.31	0.24
200 秒	0.31	0.15	0.37	0.33	0.26
220 秒	0.31	0.16	0.37	0.34	0.28
240 秒	0.31	0.16	0.37	0.34	0.3
260 秒	0.31	0.16	0.37	0.35	0.32
280 秒	0.31	0.17	0.37	0.35	0.34
300 秒	0.31	0.17	0.37	0.36	0.36

表 C-7 紅墨水滴入 100ml 不同溶液(30°C)裝置中的光敏電阻值變化速率(k $\Omega$ /min)

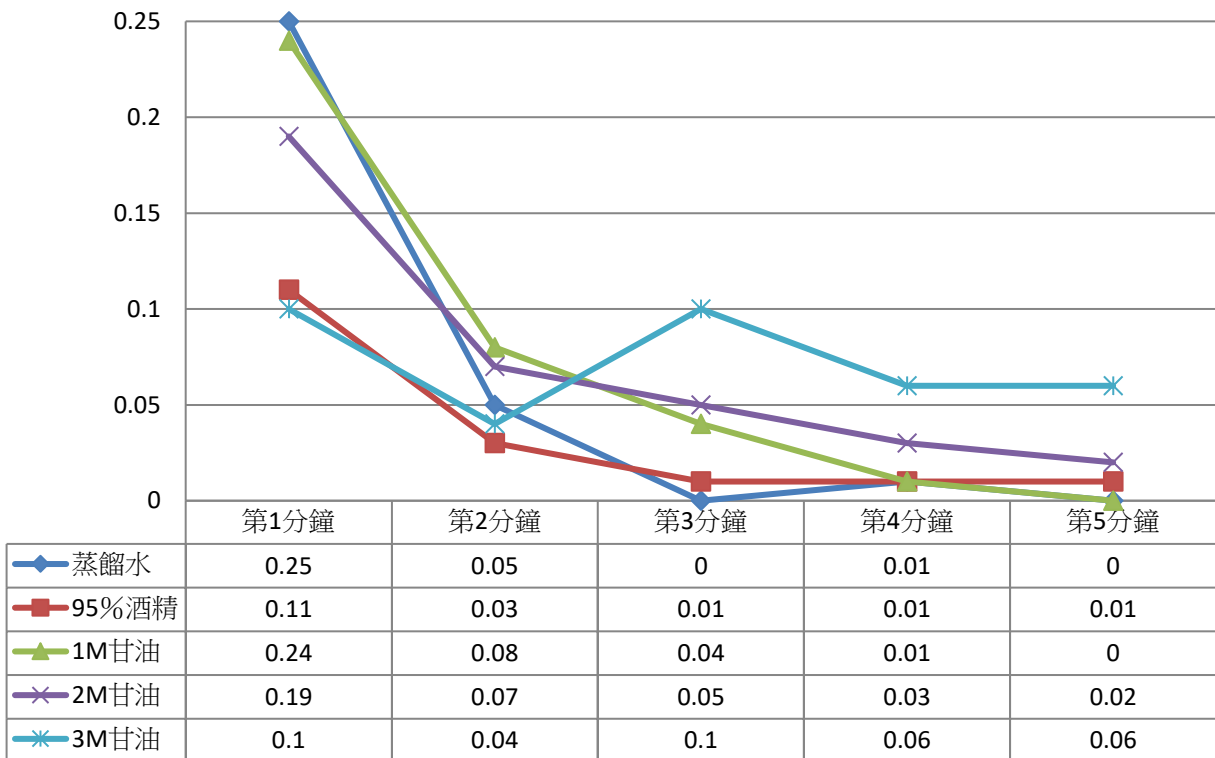
電阻值 時間	蒸餾水	95%酒精	1M 甘油	2M 甘油	3M 甘油
第 1 分鐘	0.25	0.11	0.24	0.19	0.1
第 2 分鐘	0.050	0.03	0.08	0.07	0.04
第 3 分鐘	0	0.01	0.04	0.05	0.1
第 4 分鐘	0.01	0.01	0.01	0.03	0.06
第 5 分鐘	0	0.01	0	0.02	0.06



圖C-1 紅墨水滴入不同溶液(30°C)時裝置中的光敏電阻值(kΩ) 隨時間變化情形



圖C-2 紅墨水滴入100ml不同溶液(30°C)裝置中的光敏電阻值 變化速率(kΩ/min)



**[實驗 D]：探討分子和離子在不同溫度水中的散布差異**

**(一)實驗步驟：**

- 1.將 100ml 40°C 的水置於方形玻璃杯中，用雷射筆定位將滴瓶於離液面高度 4 公分處滴入 1 滴紅墨水並即時錄影，紀錄紅墨水在水中的散布情形，**重複步驟錄影三次**，因篇幅有限，擷取其中一次影像呈現。
- 2.重複上述步驟，將水溫改為 50°C 和 60°C，比較色素分子的散布差異。
- 3.重複上述步驟，改為將 1 滴過錳酸鉀滴入 30°C、40°C、50°C 和 60°C，比較過錳酸根離子的散布差異。
- 4.將方形玻璃杯置於自製感光裝置中，調整三用電表的電阻檔次至 20k $\Omega$ ，開燈並記錄初始電阻值。用雷射筆定位將滴瓶於離液面高度 4 公分處滴入 1 滴紅墨水後關上上蓋，每隔 20 秒紀錄其電阻值，持續 300 秒。分別量測紅墨水和過錳酸鉀溶液在不同溫度下散布速率的差異。之後用玻璃棒攪拌溶液使紅墨水和過錳酸鉀在杯中完全擴散，量測完全擴散後的電阻值，以確認滴入紅墨水和過錳酸鉀的量約略相同。

**(二)實驗結果：如表 D-1~D-10 與圖 D-1~D-2 所示。**

- 1.由錄影畫面可見紅墨水和過錳酸鉀滴入不同溫度水中時，皆為溫度愈高散布愈快，散布速率在 50°C 以上時有較明顯的提升。
- 2.進一步利用自製感光裝置將紅墨水和過錳酸鉀滴入水中的散布情形進行量化分析，表 D-8 顯示，紅墨水滴入不同溫度水中時，30°C 和 40°C 時的散布速率差異不大，50°C 時速率較 40°C 時有明顯提升，而 60°C 時前 60 秒較 50°C 迅速，之後的散布情形與 50°C 差異不大。過錳酸鉀滴入不同溫度水中時，30°C 時的散布速率較紅墨水慢，40°C、50°C、60°C 時散布速率皆明顯快於紅墨水。散布的快慢大致為：**過錳酸鉀 60°C > 過錳酸鉀 50°C > 紅墨水 60°C > 紅墨水 50°C > 過錳酸鉀 40°C > 紅墨水 40°C > 紅墨水 30°C > 過錳酸鉀 30°C**。
- 3.由表 D-9 與圖 D-1 可看出光敏電阻值(k $\Omega$ )隨時間的變化情形，前 20 秒的數據顯示過錳酸根離子在 50°C 和 60°C 的散布情形遠優於紅墨水分子，120 秒之後不論是紅墨水分子或過錳酸根離子，在水中的擴散情形皆變的不明顯。
- 4.由表 D-10 和圖 D-2 可進一步看出紅墨水和過錳酸鉀滴入不同溫度水中時，溫度愈高散布愈快的情況主要在前 1 分鐘內，之後 4 分鐘的擴散速率差異不大。

表 D-1 100ml 的水(40°C)置於方形玻璃杯中滴入紅墨水每隔 20 秒的散布情形











20 秒	40 秒	60 秒	80 秒	100 秒
				
120 秒	140 秒	160 秒	180 秒	200 秒
				

表 D-2 100ml 的水(50°C)置於方形玻璃杯中滴入紅墨水每隔 20 秒的散布情形











20 秒	40 秒	60 秒	80 秒	100 秒
				
120 秒	140 秒	160 秒	180 秒	200 秒
				

表 D-3 100ml 的水(60°C)置於方形玻璃杯中滴入紅墨水每隔 20 秒的散布情形







20 秒	40 秒	60 秒	80 秒	100 秒
				
120 秒	140 秒	160 秒	180 秒	200 秒
				

表 D-4 100ml 的水(30°C)置於方形玻璃杯中滴入過錳酸鉀每隔 20 秒的散布情形











20 秒	40 秒	60 秒	80 秒	100 秒
				
120 秒	140 秒	160 秒	180 秒	200 秒
				

表 D-5 100ml 的水(40°C)置於方形玻璃杯中滴入過錳酸鉀每隔 20 秒的散布情形











20 秒	40 秒	60 秒	80 秒	100 秒
				
120 秒	140 秒	160 秒	180 秒	200 秒
				

表 D-6 100ml 的水(50°C)置於方形玻璃杯中滴入過錳酸鉀每隔 20 秒的散布情形











20 秒	40 秒	60 秒	80 秒	100 秒
				
120 秒	140 秒	160 秒	180 秒	200 秒
				



表 D-7 100ml 的水(60°C)置於方形玻璃杯中滴入過錳酸鉀每隔 20 秒的散布情形






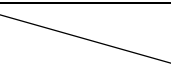
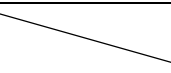
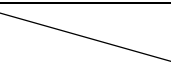
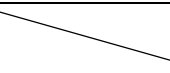
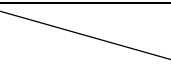
20 秒	40 秒	60 秒	80 秒	100 秒
				
120 秒	140 秒	160 秒	180 秒	200 秒
				

表 D-8 紅墨水和過錳酸鉀滴入不同溫度水中裝置中測得的光敏電阻值(kΩ)

時間	紅墨水 30°C	紅墨水 40°C	紅墨水 50°C	紅墨水 60°C	過錳酸鉀 30°C	過錳酸鉀 40°C	過錳酸鉀 50°C	過錳酸鉀 60°C
0 秒	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12
20 秒	1.33	1.33	1.37	1.41	1.31	1.38	1.47	1.49
40 秒	1.35	1.36	1.42	1.44	1.33	1.39	1.52	1.52
60 秒	1.37	1.38	1.45	1.46	1.33	1.40	1.55	1.55
80 秒	1.39	1.39	1.47	1.47	1.34	1.41	1.56	1.57
100 秒	1.41	1.41	1.48	1.48	1.34	1.41	1.56	1.58
120 秒	1.42	1.42	1.48	1.48	1.34	1.42	1.57	1.58
140 秒	1.42	1.42	1.49	1.49	1.35	1.42	1.57	1.59
160 秒	1.42	1.43	1.49	1.49	1.35	1.43	1.58	1.60
180 秒	1.42	1.43	1.49	1.50	1.35	1.44	1.58	1.60
200 秒	1.43	1.44	1.49	1.50	1.36	1.44	1.58	1.60
220 秒	1.43	1.44	1.49	1.50	1.36	1.45	1.58	1.61
240 秒	1.43	1.44	1.50	1.50	1.36	1.45	1.59	1.62
260 秒	1.43	1.44	1.50	1.50	1.36	1.46	1.59	1.62
280 秒	1.43	1.45	1.50	1.50	1.36	1.46	1.59	1.62
300 秒	1.43	1.45	1.50	1.50	1.36	1.46	1.60	1.62
完全擴散	1.61	1.63	1.64	1.64	1.62	1.63	1.64	1.64

表 D-9 紅墨水和過錳酸鉀滴入不同溫度水中裝置中的光敏電阻值(kΩ)隨時間變化情形

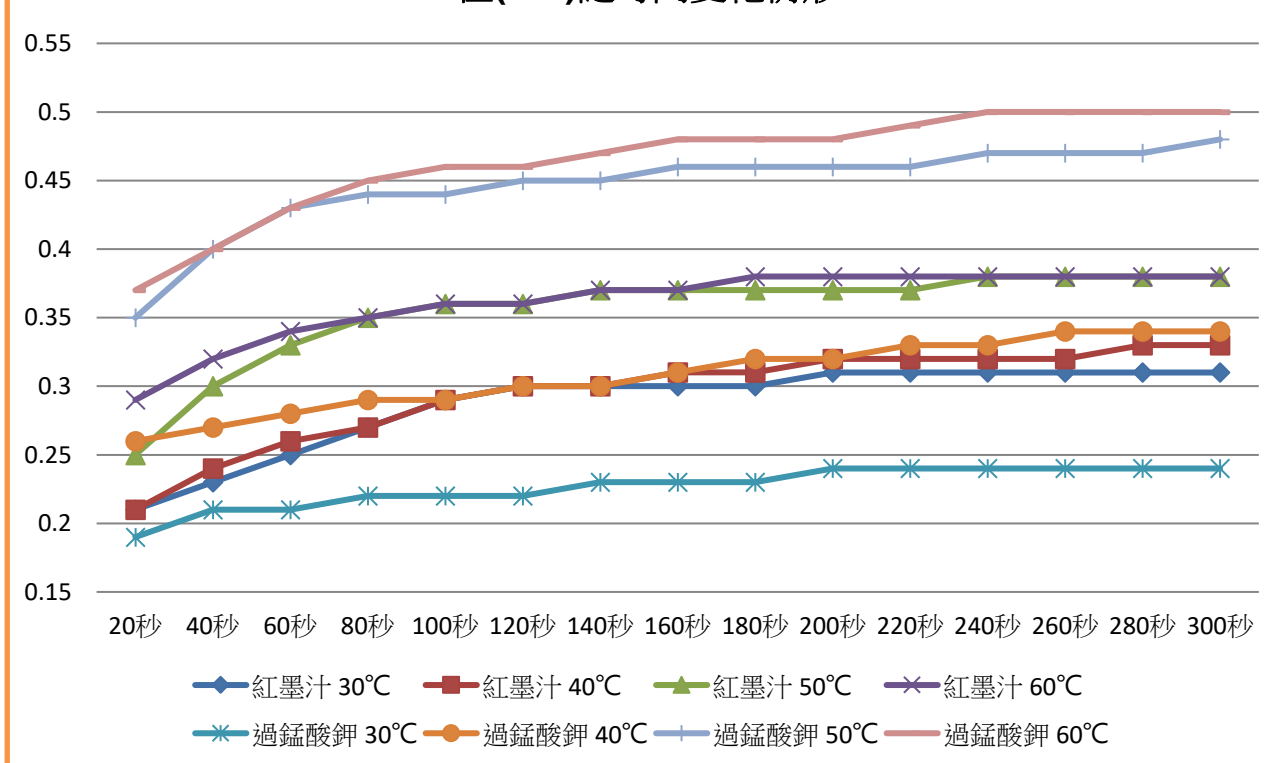
時間	紅墨水 30°C	紅墨水 40°C	紅墨水 50°C	紅墨水 60°C	過錳酸鉀 30°C	過錳酸鉀 40°C	過錳酸鉀 50°C	過錳酸鉀 60°C
20 秒	0.21	0.21	0.25	0.29	0.19	0.26	0.35	0.37
40 秒	0.23	0.24	0.3	0.32	0.21	0.27	0.4	0.4
60 秒	0.25	0.26	0.33	0.34	0.21	0.28	0.43	0.43
80 秒	0.27	0.27	0.35	0.35	0.22	0.29	0.44	0.45
100 秒	0.29	0.29	0.36	0.36	0.22	0.29	0.44	0.46

120 秒	0.3	0.3	0.36	0.36	0.22	0.3	0.45	0.46
140 秒	0.3	0.3	0.37	0.37	0.23	0.3	0.45	0.47
160 秒	0.3	0.31	0.37	0.37	0.23	0.31	0.46	0.48
180 秒	0.3	0.31	0.37	0.38	0.23	0.32	0.46	0.48
200 秒	0.31	0.32	0.37	0.38	0.24	0.32	0.46	0.48
220 秒	0.31	0.32	0.37	0.38	0.24	0.33	0.46	0.49
240 秒	0.31	0.32	0.38	0.38	0.24	0.33	0.47	0.5
260 秒	0.31	0.32	0.38	0.38	0.24	0.34	0.47	0.5
280 秒	0.31	0.33	0.38	0.38	0.24	0.34	0.47	0.5
300 秒	0.31	0.33	0.38	0.38	0.24	0.34	0.48	0.5

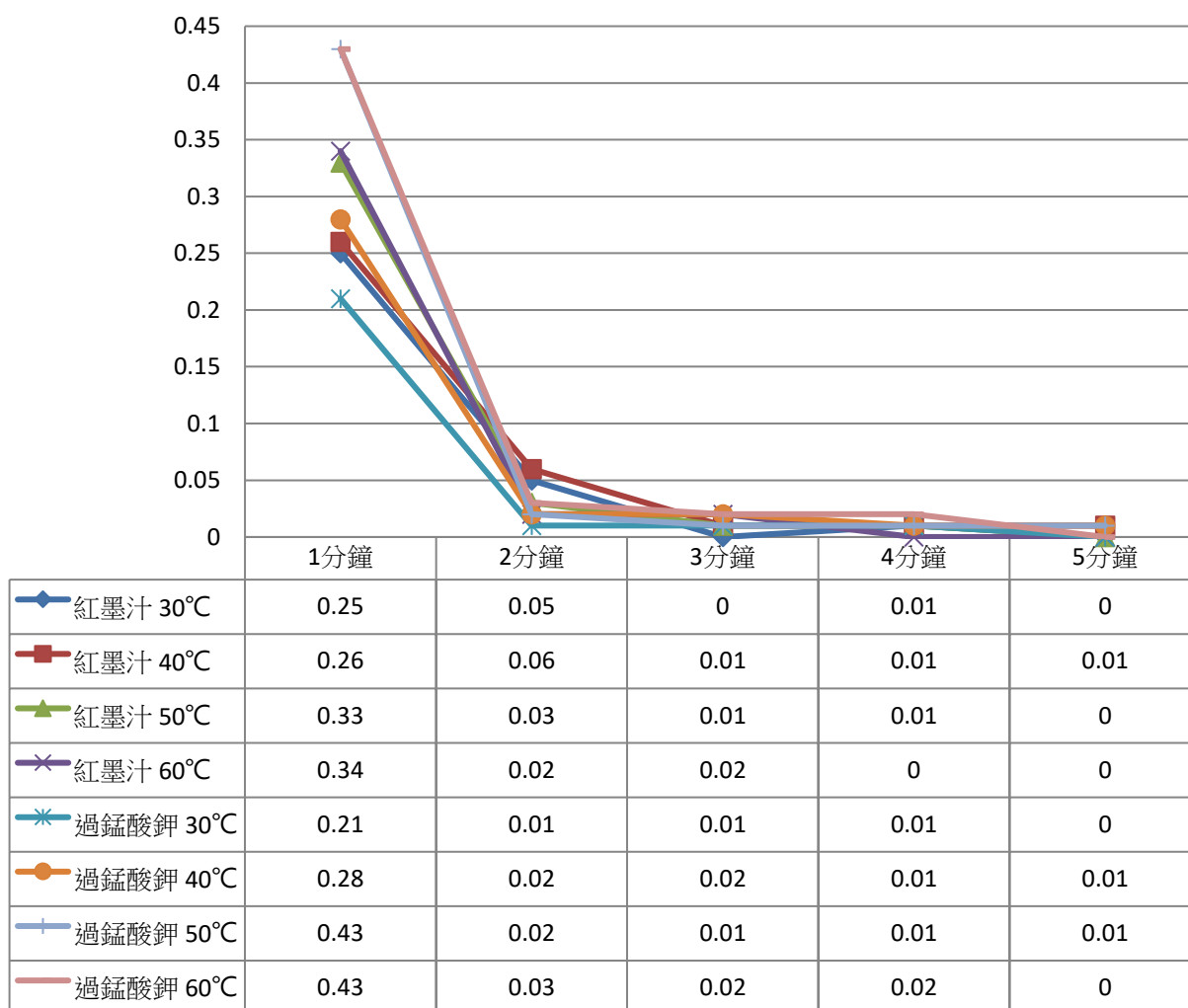
表 D-10 紅墨水和過錳酸鉀滴入不同溫度水中裝置中的光敏電阻值變化速率(kΩ/min)

時間	紅墨水 30°C	紅墨水 40°C	紅墨水 50°C	紅墨水 60°C	過錳酸鉀 30°C	過錳酸鉀 40°C	過錳酸鉀 50°C	過錳酸鉀 60°C
第 1 分鐘	0.25	0.26	0.33	0.34	0.21	0.28	0.43	0.43
第 2 分鐘	0.05	0.06	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03
第 3 分鐘	0	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
第 4 分鐘	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.02
第 5 分鐘	0	0.01	0	0	0	0.01	0.01	0

圖D-1 紅墨水和過錳酸鉀滴入不同溫度水中裝置中的光敏電阻值(kΩ)隨時間變化情形



圖D-2 紅墨水和過錳酸鉀滴入不同溫度水中裝置中的光敏電阻值變化速率(kΩ/min)



[實驗 E]：探討分子和離子在氯化鈉水溶液中的散布差異

(一)實驗步驟：

- 1.分別將 100ml 1M 和 2M 的氯化鈉水溶液(30°C)置於方形玻璃杯中，用雷射筆定位將滴瓶於離液面高度 4 公分處滴入 1 滴紅墨水並即時錄影，紀錄紅墨水在水中的散布情形，**重複步驟錄影三次**，因篇幅有限，擷取其中一次影像呈現。
- 2.重複上述步驟，將紅墨水改為過錳酸鉀溶液，比較其散布情形差異。
- 3.將裝有 100ml 1M 和 2M 氯化鈉水溶液(30°C)的方形玻璃杯置於自製感光裝置中，調整三用電表的電阻檔次至 20kΩ，開燈並記錄初始電阻值。用雷射筆定位將滴瓶於離液面高度 4 公分處滴入 1 滴紅墨水後關上上蓋，每隔 20 秒紀錄其電阻值，持續 300 秒。分別量測紅墨水和過錳酸鉀溶液在不同濃度氯化鈉水溶液中散布速率的差異。之後用玻璃棒攪拌溶液使紅墨水和過錳酸鉀在杯中完全擴散，量測完全擴散後的電阻值，以確認滴入紅墨水和過錳酸鉀的量約略相同。

(二)實驗結果：如表 E-1~E-7 與圖 E-1~E-2 所示。

- 1.由錄影畫面可見紅墨水滴入 1M 氯化鈉水溶液時在杯中直線落下，部分留在液面上的色素分子在液面上分散後再慢慢往下沉降；而滴入 2M 氯化鈉水溶液的色素分子則是在液面上分散後再慢慢沉降，由上而下漸次布滿整個杯子。
- 2.由錄影畫面可見過錳酸鉀滴入 1M 氯化鈉水溶液時呈現出沉降和分散同步進行，落入液中的離子同時向各個方向散布，散布速率較紅墨汁分子在 1M 氯化鈉中快上許多；滴入 2M 氯化鈉水溶液的離子則是在液面上迅速分散後再緩慢而穩定的由上而下漸漸布滿整個杯子。
- 3.進一步利用自製感光裝置將紅墨水滴入的散布情形進行量化分析，由表 E-5 數據顯示紅墨水滴入蒸餾水中剛開始的散布情形比在氯化鈉水溶液中快，但在 120 秒之後便緩慢下來，紅墨水在 2M 氯化鈉中的散布一開始最為緩慢，但它的散布是持續而穩定，在 240 秒後竟超越了蒸餾水和 1M 氯化鈉。過錳酸鉀滴入 1M 氯化鈉是同溫下所有情況中散布速率最快的，而過錳酸鉀滴入 2M 氯化鈉剛開始的散布也較紅墨水滴入 2M 氯化鈉快上許多，之後的擴散亦是持續而穩定。
- 4.由表 E-6 與圖 E-1 可看出光敏電阻值( $k\Omega$ )隨時間的變化情形，前 20 秒數據顯示紅墨水滴入 2M 氯化鈉水溶液的散布最為緩慢，但其在 20 秒~300 秒內的斜率變化最為明顯，散布情形後來居上。而過錳酸鉀滴入 1M 氯化鈉水溶液的散布情形則是又快又持續穩定提升，是所有情況中擴散速率最快的。
- 5.由表 E-7 和圖 E-2 可進一步看出過錳酸鉀滴入氯化鈉水溶液中持續擴散的穩定性高於在水中的擴散。而紅墨水滴入 2M 氯化鈉水溶液的第 2 分鐘之後，每分鐘的散布速率都優於其他情形。

表 E-1 100ml 1M 的氯化鈉水溶液置於方形玻璃杯中滴入紅墨水每隔 20 秒的散布情形











20 秒	40 秒	60 秒	80 秒	100 秒
				
120 秒	140 秒	160 秒	180 秒	200 秒
				



表 E-2 100ml 2M 的氯化鈉水溶液置於方形玻璃杯中滴入紅墨水每隔 20 秒的散布情形











20 秒	40 秒	60 秒	80 秒	100 秒
				
120 秒	140 秒	160 秒	180 秒	200 秒
				

表 E-3 100ml 1M 的氯化鈉水溶液的置於方形玻璃杯中滴入過錳酸鉀每隔 20 秒的散布情形











20 秒	40 秒	60 秒	80 秒	100 秒
				
120 秒	140 秒	160 秒	180 秒	200 秒
				

表 E-4 100ml 2M 的氯化鈉水溶液的置於方形玻璃杯中滴入過錳酸鉀每隔 20 秒的散布情形







20 秒	40 秒	60 秒	80 秒	100 秒
				
120 秒	140 秒	160 秒	180 秒	200 秒
				

表 E-5 紅墨水和過錳酸鉀滴入氯化鈉水溶液(30°C)中測得的光敏電阻值(kΩ)

時間	紅墨水 蒸餾水	紅墨水 1M 氯化鈉	紅墨水 2M 氯化鈉	過錳酸鉀 蒸餾水	過錳酸鉀 1M 氯化鈉	過錳酸鉀 2M 氯化鈉
0 秒	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12
20 秒	1.33	1.31	1.20	1.31	1.33	1.29
40 秒	1.35	1.36	1.22	1.33	1.36	1.33
60 秒	1.37	1.38	1.24	1.33	1.39	1.35
80 秒	1.39	1.39	1.26	1.34	1.41	1.37
100 秒	1.41	1.40	1.28	1.34	1.43	1.39
120 秒	1.42	1.42	1.30	1.34	1.45	1.40
140 秒	1.42	1.43	1.33	1.35	1.47	1.42
160 秒	1.42	1.44	1.35	1.35	1.48	1.43
180 秒	1.42	1.45	1.38	1.35	1.50	1.45
200 秒	1.43	1.46	1.41	1.36	1.51	1.46
220 秒	1.43	1.47	1.45	1.36	1.53	1.47
240 秒	1.43	1.47	1.48	1.36	1.53	1.48
260 秒	1.43	1.48	1.51	1.36	1.54	1.49
280 秒	1.43	1.48	1.53	1.36	1.55	1.50
300 秒	1.43	1.49	1.54	1.36	1.55	1.51
完全擴散	1.61	1.63	1.64	1.62	1.64	1.61

表 E-6 紅墨水和過錳酸鉀滴入氯化鈉水溶液(30°C)中光敏電阻值(kΩ)隨時間的變化情形

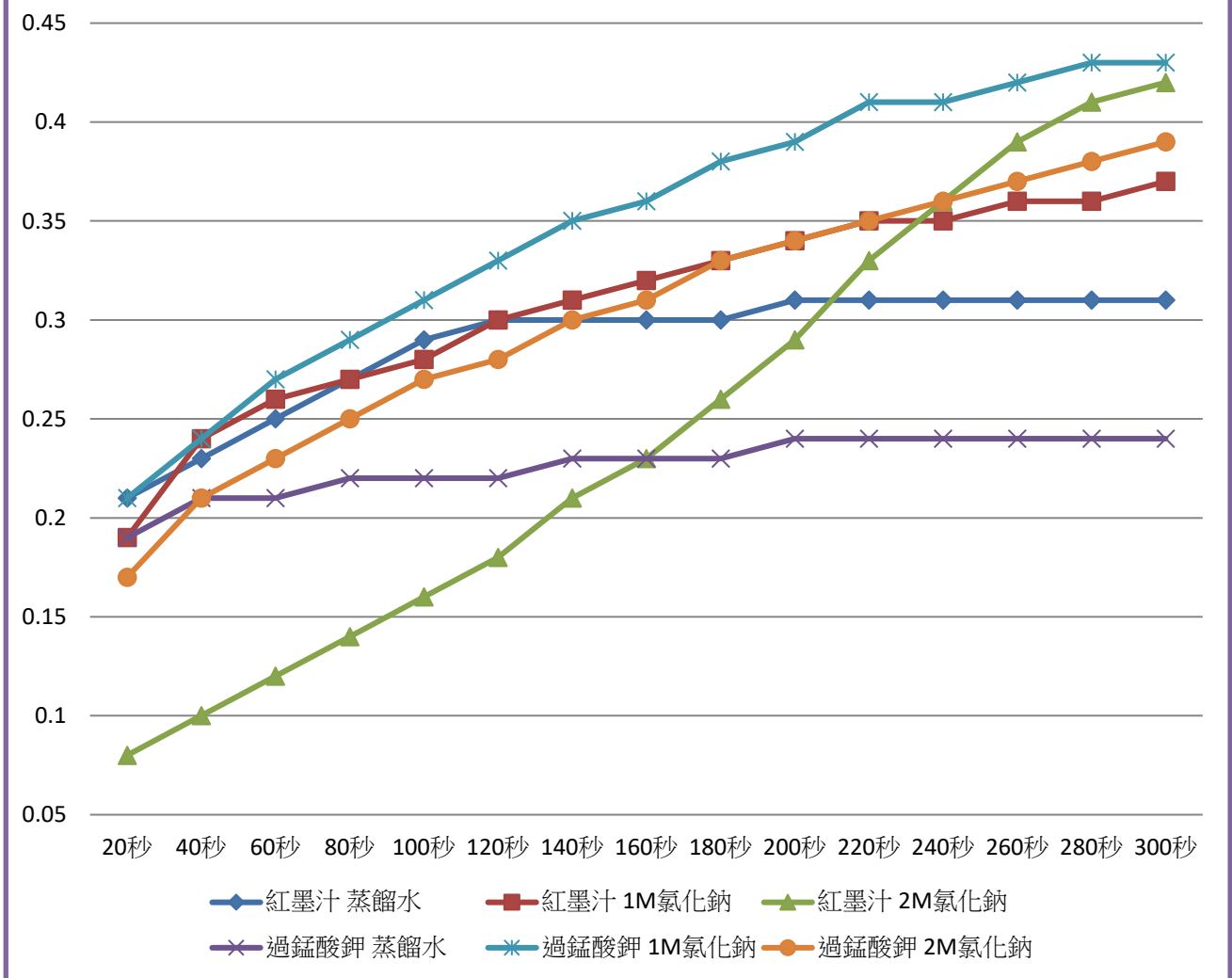
時間	紅墨水 蒸餾水	紅墨水 1M 氯化鈉	紅墨水 2M 氯化鈉	過錳酸鉀 蒸餾水	過錳酸鉀 1M 氯化鈉	過錳酸鉀 2M 氯化鈉
20 秒	0.21	0.19	0.08	0.19	0.21	0.17
40 秒	0.23	0.24	0.1	0.21	0.24	0.21
60 秒	0.25	0.26	0.12	0.21	0.27	0.23
80 秒	0.27	0.27	0.14	0.22	0.29	0.25
100 秒	0.29	0.28	0.16	0.22	0.31	0.27
120 秒	0.3	0.3	0.18	0.22	0.33	0.28
140 秒	0.3	0.31	0.21	0.23	0.35	0.3
160 秒	0.3	0.32	0.23	0.23	0.36	0.31
180 秒	0.3	0.33	0.26	0.23	0.38	0.33
200 秒	0.31	0.34	0.29	0.24	0.39	0.34
220 秒	0.31	0.35	0.33	0.24	0.41	0.35
240 秒	0.31	0.35	0.36	0.24	0.41	0.36
260 秒	0.31	0.36	0.39	0.24	0.42	0.37

280 秒	0.31	0.36	0.41	0.24	0.43	0.38
300 秒	0.31	0.37	0.42	0.24	0.43	0.39

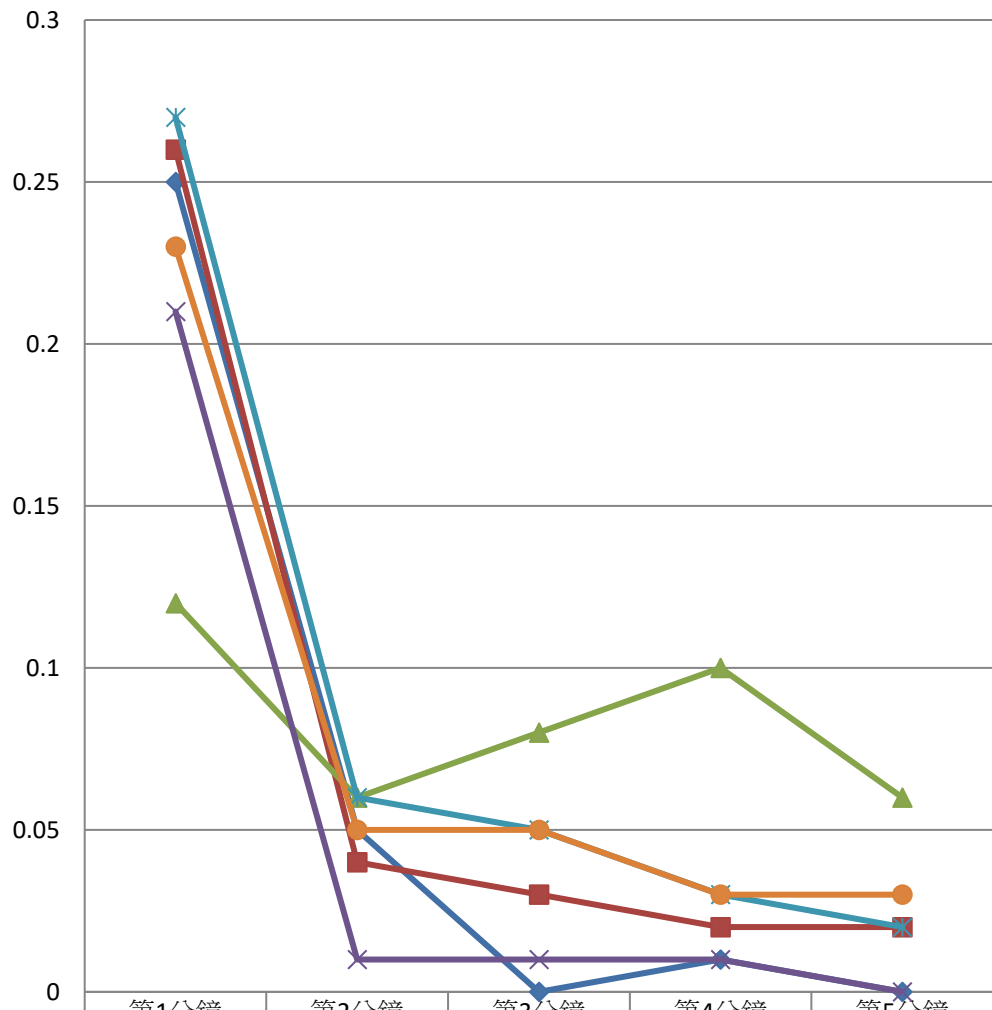
表 E-7 紅墨水和過錳酸鉀滴入氯化鈉水溶液(30°C)中的光敏電阻值變化速率(kΩ/min)

時間	紅墨水 蒸餾水	紅墨水 1M 氯化鈉	紅墨水 2M 氯化鈉	過錳酸鉀 蒸餾水	過錳酸鉀 1M 氯化鈉	過錳酸鉀 2M 氯化鈉
第 1 分鐘	0.25	0.26	0.12	0.21	0.27	0.23
第 2 分鐘	0.05	0.04	0.06	0.01	0.06	0.05
第 3 分鐘	0	0.03	0.08	0.01	0.05	0.05
第 4 分鐘	0.01	0.02	0.1	0.01	0.03	0.03
第 5 分鐘	0	0.02	0.06	0	0.02	0.03

圖E-1 紅墨水和過錳酸鉀滴入氯化鈉(30°C)中電阻值(kΩ)隨時間的變化情形



圖E-2 紅墨水和過錳酸鉀滴入氯化鈉水溶液(30°C)中的光敏電阻值變化速率(kΩ/min)



	第1分鐘	第2分鐘	第3分鐘	第4分鐘	第5分鐘
紅墨汁 蒸餾水	0.25	0.05	0	0.01	0
紅墨汁 1M氯化鈉	0.26	0.04	0.03	0.02	0.02
紅墨汁 2M氯化鈉	0.12	0.06	0.08	0.1	0.06
過錳酸鉀 蒸餾水	0.21	0.01	0.01	0.01	0
過錳酸鉀 1M氯化鈉	0.27	0.06	0.05	0.03	0.02
過錳酸鉀 2M氯化鈉	0.23	0.05	0.05	0.03	0.03



## 伍、研究討論

### 一、[實驗 A]：紅墨水在不同截面積容器的散布差異

擴散(diffusion)是由於粒子（原子、分子及離子等）的不規則運動而產生從高濃度區域向低濃度區域轉移的遷移現象。由於紅墨水的密度比水大，實驗發現，當紅墨水滴入水中時，色素分子會同時向各個方向散布，其中以向下的傾向最高。同樣是滴入 100ml 水中，但因為容器的截面積不同，色素分子布滿水中所需的時間會有所差異。實驗結果顯示，色素分子散布的快慢次序為 100ml 量筒 > 250ml 燒杯 > 100ml 燒杯。

錄影畫面顯示滴入 250ml 燒杯時紅墨水迅速到達底部會彈升再暈開布滿整杯水；滴入 100ml 燒杯的紅墨水則是在沉降過程中慢慢向各方向擴散；因為 100ml 量筒側面空間不大，紅墨水在下落過程中部分側向散布的色素分子便足以布滿水平面，當紅墨水下沉至量筒底部時，便幾乎布滿了 100ml 的水。研究發現，紅墨水分子滴入水中的散布情形，在不同容器中會造成不一樣的擾動情形，並非截面積愈大或愈小便散布的愈快。

### 二、[實驗 B]：紅墨水在不同高度落下的散布差異

紅墨水由愈高的高度落下，到達水面時的速率愈快，紅墨水在水中的沉降速度也快，錄影畫面顯示沉降過程中側向散布所形成的紅色區域會較小，墨水迅速到達底部後彈升暈開再布滿整杯水。滴落高度低紅墨水沉降速度較慢，沉降過程中側向散布所形成的紅色區域會較大。

由錄影所擷取的畫面發現，紅墨水由高度 4 公分、8 公分和 12 公分落下的散布快慢似乎差異不大，不易用肉眼分辨。因此使用自製感光裝置將紅墨水落入水中的散布情形數據化呈現，實驗結果顯示散布速率快慢為落下高度 12 公分 > 8 公分 > 4 公分，進一步證實紅墨水由愈高的高度落入水中，散布速率愈快。由光敏電阻所測得的電阻值變化也發現，不同高度落下所造成的散布速率差異主要發生在前 1 分鐘，1 分鐘之後的擴散速率差異不大。

### 三、[實驗 C]：紅墨水在不同溶液中的散布差異

紅墨水滴入不同溶液的實驗中，散布快慢為 1M 甘油 > 2M 甘油 > 3M 甘油 > 95% 酒精。散布情形明顯受到密度差異的影響，但並非如瑞利-泰勒不穩定性(Rayleigh-Taylor instability)所言密度差異越大時擴散越快。由於 3M 甘油水溶液的密度大於紅墨水，使得紅墨水先短暫停留於液面散開，而後再緩降向下散布，而 95% 酒精水溶液則是因為密度太小，大量紅墨水分子沉降於杯底久久未能完全擴散。

進一步利用自製感光裝置將散布情形數據化並與滴入蒸餾水做比較後發現，紅墨水滴入蒸餾水(密度較小)一開始的散布速率比甘油水溶液(密度較大)來的快，但在 100 秒之後其散布情形明顯慢了下來，而甘油水溶液可能因為溶液中有甘油分子與紅墨水色素分子持續碰撞，因此擴散效應不斷提升。尤其是 3M 甘油，由於其中所含的甘油分子最多，數據顯示在 120 秒之後單位時間內的電阻值仍有明顯的提升，色素分子和甘油分子碰撞所造成的效應最為強烈。

#### 四、[實驗 D]：分子和離子在不同溫度水中的散布差異

紅墨水的色素為分子狀態，過錳酸鉀中的過錳酸根為離子狀態，滴入不同溫度水中，皆表現出溫度愈高擴散速率愈快。溫度由 30°C、40°C、50°C 到 60°C 的過程發現，40°C 增為 50°C 時，其散布情形會有更明顯的提升，可見**擴散速率並非隨溫度升高而均勻提升**。實驗發現，水溫 30°C 時，色素分子的散布速率比過錳酸根離子快，當水溫在 40°C 以上時，過錳酸根離子的散布速率會明顯大於色素分子，**推論溫度升高對離子運動的提升效果優於分子**。

實驗數據顯示，過錳酸根離子和紅墨水分子在較高溫的水中散布速率愈快的情況主要發生在前 1 分鐘，應該是離子和分子在蒸餾水中已有一定的分布，但缺乏如[實驗 C]的甘油分子能發生更有效應的碰撞，因此之後 4 分鐘的擴散速率差異不大。

#### 五、[實驗 E]：分子和離子在氯化鈉水溶液中的散布差異

研究發現，紅墨水和過錳酸鉀滴入氯化鈉水溶液中的散布效果都比滴入蒸餾水中來的好，推論是因為氯化鈉水溶液有氯離子和鈉離子的存在，因而增進了與色素分子或過錳酸根離子的碰撞機會所造成。過錳酸鉀和紅墨水滴入氯化鈉水溶液中的散布情形以過錳酸鉀較佳，推論是水溶液中離子和離子間庫倫靜電力所造成的碰撞效應優於色素分子和離子間的交互作用。過錳酸鉀滴入 1M 氯化鈉水溶液的散布情形又快又能持續穩定提升，是所有情況中擴散速率最快的。

## 陸、結論

- 一、將紅墨水滴入水中，其散布情形與容器的截面積大小、落下高度和水溫有關。研究發現，紅墨水分子滴入水中的散布情形，並非截面積愈大或愈小便愈快，同樣是滴入 100ml 水中，但因為容器形狀不同，色素分子落入水中造成的擾動會有所差異。實驗結果顯示，色素分子散布的快慢次序為 100ml 量筒 > 250ml 燒杯 > 100ml 燒杯。在高度與水溫的影響方面，則是落下高度愈高散布愈快，水溫愈高散布也愈快。藉由自製感光裝置將色素滴入水中的散布情形數據化，進一步發現水溫從 40°C 增為 50°C 時，散布情形會有最明顯的提升，可見色素分子在水中的散布速率並非隨溫度升高而均勻提升。
- 二、將紅墨水滴入不同溶液中，散布情形明顯受到密度差異的影響，散布快慢為 1M 甘油 > 2M 甘油 > 3M 甘油 > 95% 酒精。紅墨水落入密度最小的酒精水溶液時，大量紅墨水分子會沉降於杯底而不易擴散；紅墨水落入密度最大的 3M 甘油水溶液中，會先短暫停留於液面散開，而後再緩降向下散布。紅墨水在不同濃度甘油水溶液的散布剛開始比在蒸餾水中慢，但由於甘油分子與紅墨水色素分子持續碰撞，之後分子的散布速率會優於在蒸餾水中。
- 三、紅墨水的色素為分子狀態，過錳酸鉀中的過錳酸根為離子狀態。研究發現，水溫在 40°C 以上時，過錳酸根離子的散布速率會明顯大於紅墨水色素分子。當紅墨水與過錳酸鉀滴入相同濃度氯化鈉水溶液時，過錳酸根離子的散布效果也會優於紅墨水分子。

## 柒、參考資料

- 1.陳義裕(2005)。賭博、擴散與擴散實驗 物理雙月刊 27 卷 6 期。2005 年 12 月
- 2.中華民國第 47 屆中小學科學展覽會：散光彈--探討溶液性質對擴散行為的影響
- 3.中華民國第 50 屆中小學科學展覽會：潛「移」默化的無形小子-粒子在水中移動擴散的研究
- 4.中華民國第 58 屆中小學科學展覽會：隧散-電解質與非電解質之擴散界面現象探討
- 5.科學 Online 高瞻自然科學教學資源平台。取自：<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=4851>
- 6.科學 Online 高瞻自然科學教學資源平台。取自：<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=3356>
- 7.科學 Online 高瞻自然科學教學資源平台。取自：<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=2711>

## 【評語】 030202

本研究主題以自製感光儀，偵測紅墨水及過錳酸鉀溶液，分別滴入不同溶液之擴散情形討論，以說明離子及分子在不同溶液中的運動情形，研究方向取材於生活中的題材，符合學生進行實驗研究之精神。針對作品有以下幾點建議：

1. 自製感光儀僅用透光度之總和來說明其運動情形，無法有效說明偵測數據的意義。
2. 分子與離子的溶液不應只有滴入紅墨水及過錳酸鉀就足以說明離子與分子運動的差異。
3. 選擇擴散溶液種類及濃度，宜再深入探討。



## 作品簡報

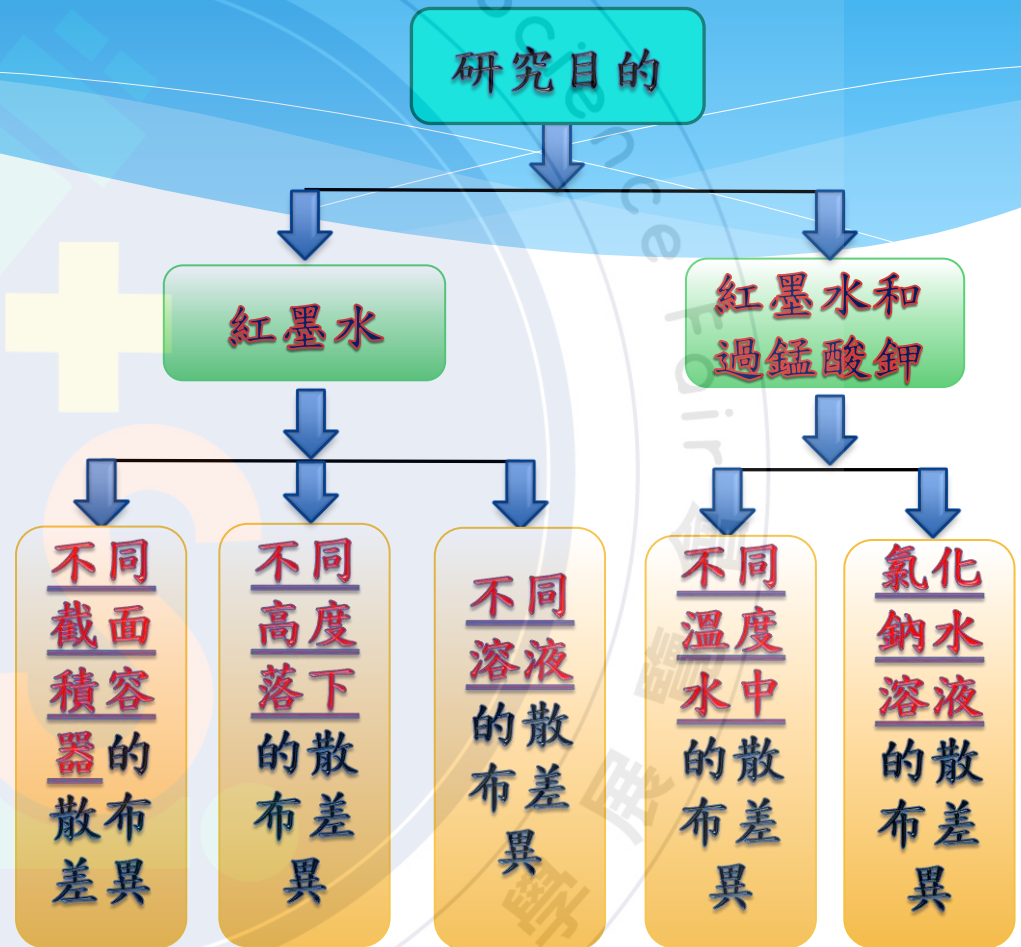
# 「分」散，「離」散 好聚好散

組別：國中組

科別：化學科

# 研究方法與研究目的

本研究主要探討**分子與離子**在不同溶液中散布情形的差異。將紅墨水與過錳酸鉀滴入不同溶液中，藉由**即時錄影的質性分析**觀察不同變因下的散布情形，再利用**自製感光裝置的量化分析**進一步測得散布速率的差異。



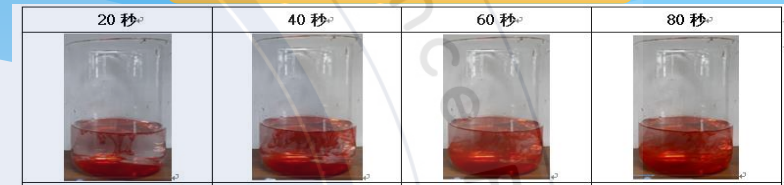
# 實驗A-研究結果與討論

(1)紅墨水滴入250ml燒杯迅速到達底部彈升再暈開布滿整杯水。100ml燒杯的紅墨水則是在沉降過程中慢慢向各方向擴散。100ml量筒側面空間小，紅墨水在下落過程中部分側向散布的色素分子就布滿水平面。

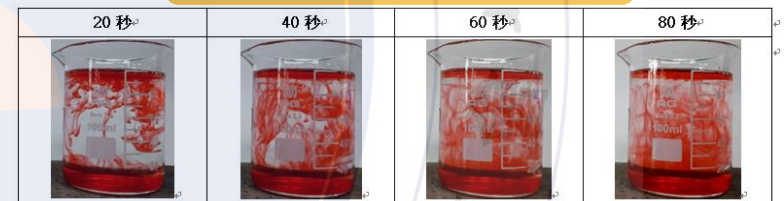
(2)紅墨水滴入不同截面積容器散布快慢：  
100ml量筒 > 250ml燒杯 > 100ml燒杯  
(約 $7.1\text{cm}^2$ )(約 $33.2\text{cm}^2$ )(約 $19.6\text{cm}^2$ )

(3)並非截面積愈大或愈小就散布愈快。

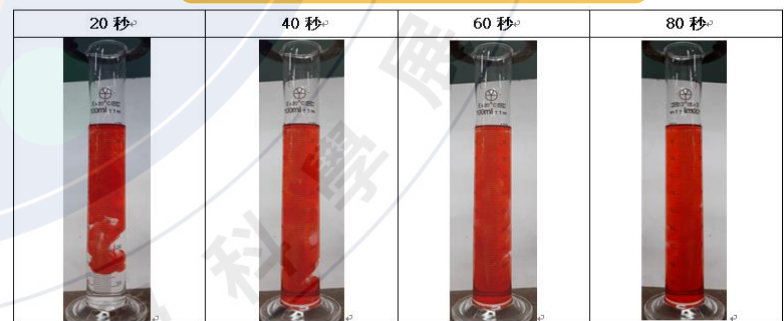
紅墨水滴入250ml燒杯



紅墨水滴入100ml燒杯



紅墨水滴入100ml量筒

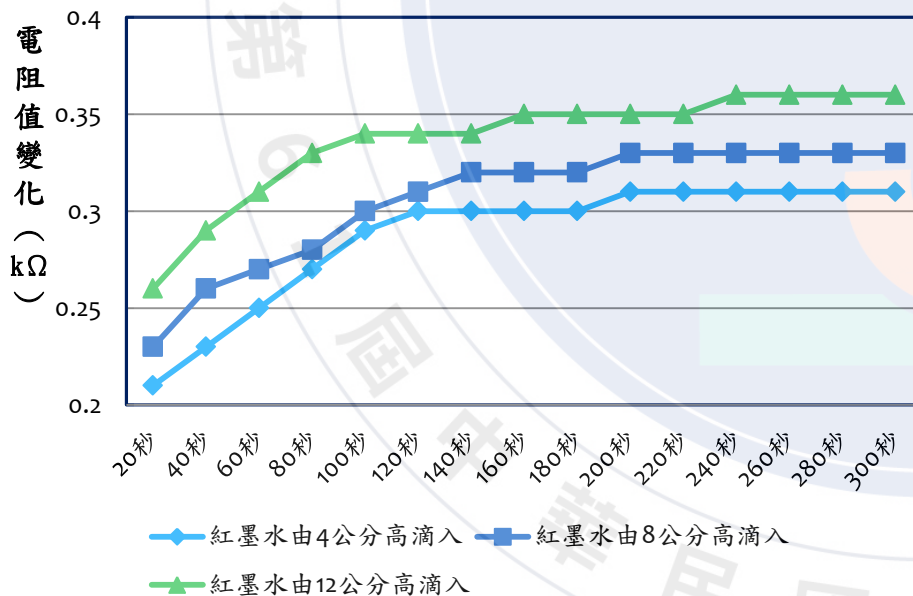




# 實驗B-研究結果與討論

- (1)紅墨水到達水面的速率愈快，沉降過程側向散布形成的紅色區域較小。
- (2)紅墨水滴落高度散布速率快慢：12公分 > 8公分 > 4公分。
- (3)紅墨水的散布主要發生在前2分鐘，2分鐘之後的擴散速率差異不大。

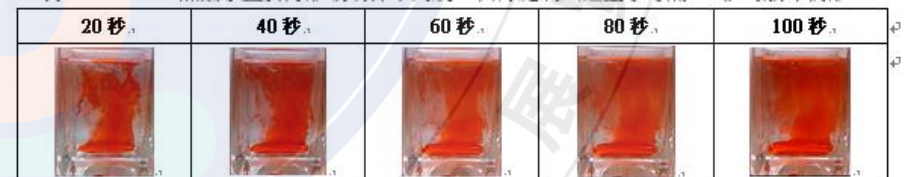
圖B-1 不同高度滴入紅墨水光敏電阻值隨時間變化情形



紅墨水滴落高度4公分



紅墨水滴落高度8公分



紅墨水滴落高度12公分



# 實驗C-研究結果與討論(1/2)

- (1)紅墨水滴入**95%酒精**水溶液時，大量色素分子便迅速沉降於杯底難以完全擴散。
- (2)滴入**甘油**水溶液時，下沉速度明顯比落入蒸餾水中慢，沉降到底部時的彈升情形也不明顯。
- (3)紅墨水分子散布情形受到水溶液**密度差異**的影響。

紅墨水滴入95%酒精



紅墨水滴入1M甘油



紅墨水滴入2M甘油



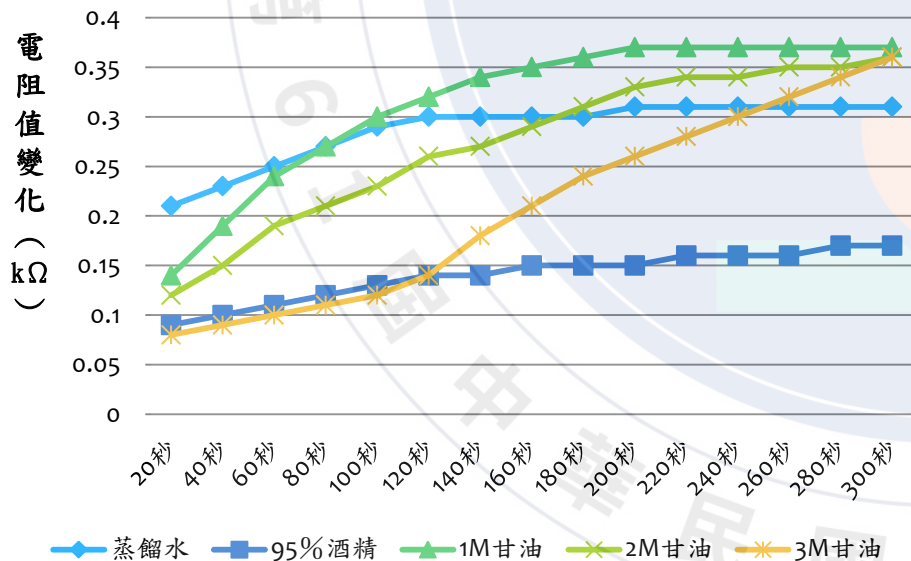
紅墨水滴入3M甘油



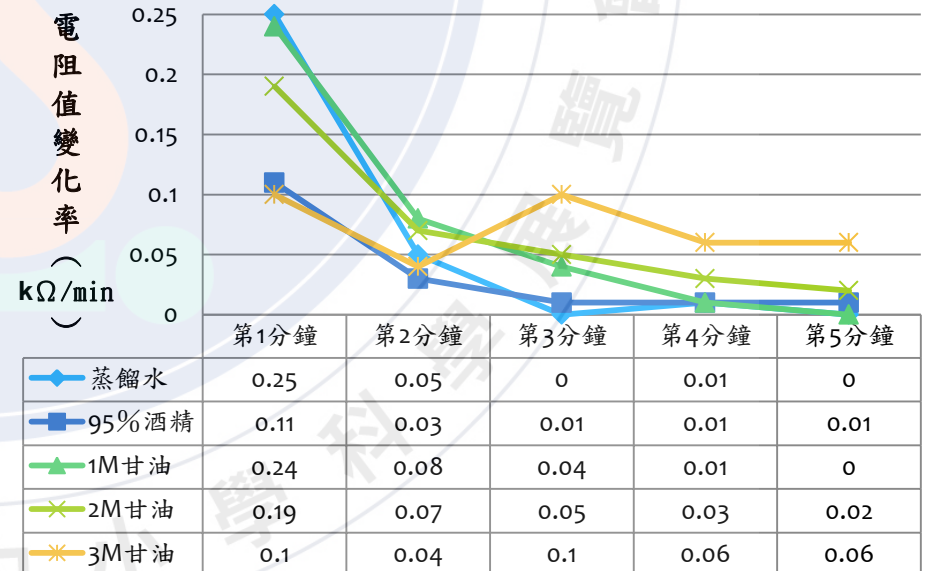
# 實驗C-研究結果與討論(2/2)

- (1) 前20秒紅墨水的散布情形明顯受到水溶液的密度影響。120秒之後蒸餾水與酒精的電阻值變化緩慢，色素分子在甘油水溶液的擴散仍不斷提升。
- (2) 3M甘油所含的甘油分子最多，120秒之後電阻值仍有明顯提升，色素分子和甘油分子碰撞造成的效應最為強烈。

圖C-1 紅墨水滴入不同溶液(30°C)時裝置中的光敏電阻值隨時間變化情形



圖C-2 紅墨水滴入100ml不同溶液(30°C)裝置中的光敏電阻值變化速率





# 實驗D-研究結果與討論(1/2)

(1) 由錄影畫面與自製感光裝置發現紅墨水和過錳酸鉀滴入水中時，散布速率並非隨溫度升高而均勻提升。

(2) 當水溫在 $40^{\circ}\text{C}$ 以上時，過錳酸根離子的散布速率會明顯大於色素分子，推論溫度升高對過錳酸根擴散速率的提升效果優於紅墨水分子。

紅墨水滴入 $30^{\circ}\text{C}$ 水中



過錳酸鉀滴入 $30^{\circ}\text{C}$ 水中



紅墨水滴入 $40^{\circ}\text{C}$ 水中



過錳酸鉀滴入 $40^{\circ}\text{C}$ 水中



紅墨水滴入 $50^{\circ}\text{C}$ 水中



過錳酸鉀滴入 $50^{\circ}\text{C}$ 水中



紅墨水滴入 $60^{\circ}\text{C}$ 水中



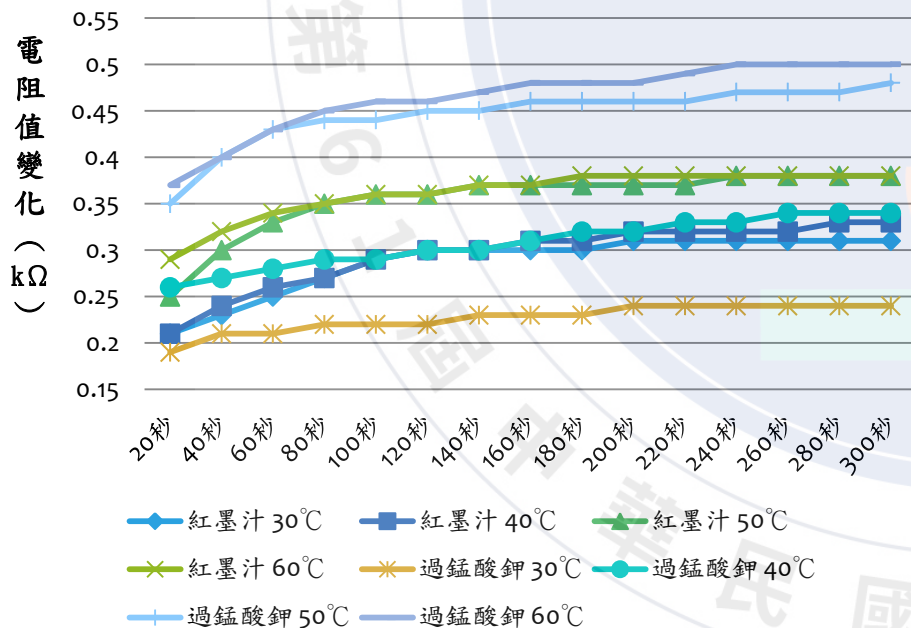
過錳酸鉀滴入 $60^{\circ}\text{C}$ 水中



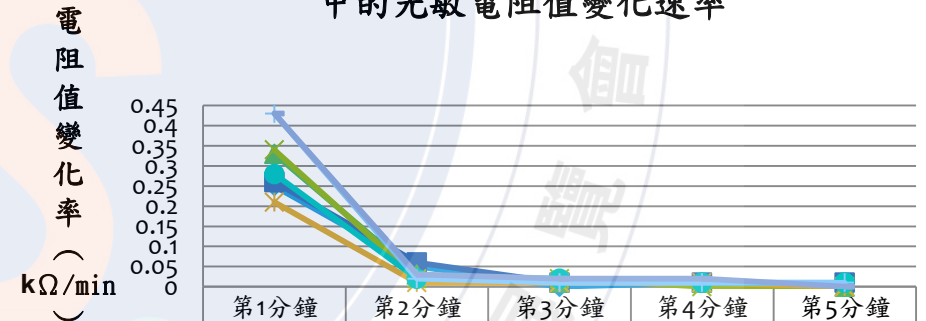
# 實驗D-研究結果與討論(2/2)

- (1) **前20秒**過錳酸根離子在**50°C**和**60°C**的散布情形遠優於**紅墨水分子**，**120秒**之後在水中的擴散情形皆變的不明顯。
- (2) **紅墨水**和**過錳酸鉀**滴入不同溫度水中時，**溫度愈高**散布愈快**主要發生在前1分鐘**內，第2分鐘之後的擴散速率差異不大。

圖D-1 紅墨水和過錳酸鉀滴入不同溫度水中裝置中的光敏電阻值(kΩ)隨時間變化情形



圖D-2 紅墨水和過錳酸鉀滴入不同溫度水中裝置中的光敏電阻值變化速率



紅墨汁 30°C	0.25	0.05	0	0.01	0
紅墨汁 40°C	0.26	0.06	0.01	0.01	0.01
紅墨汁 50°C	0.33	0.03	0.01	0.01	0
紅墨汁 60°C	0.34	0.02	0.02	0	0
過錳酸鉀 30°C	0.21	0.01	0.01	0.01	0
過錳酸鉀 40°C	0.28	0.02	0.02	0.01	0.01
過錳酸鉀 50°C	0.43	0.02	0.01	0.01	0.01
過錳酸鉀 60°C	0.43	0.03	0.02	0.02	0



# 實驗E-研究結果與討論(1/2)

(1) 過錳酸鉀滴入1M氯化鈉後落入液中的離子同時向各個方向散布，散布速率比紅墨水分子在1M氯化鈉中快上許多；滴入2M氯化鈉水溶液的離子則是在液面上分散後再穩定的由上而下漸漸布滿整個杯子。

(2) 紅墨水和過錳酸鉀滴入氯化鈉水溶液中的散布效果都比滴入蒸餾水中來的好，推論是因為氯化鈉水溶液有氯離子和鈉離子的存在，因而增進了與色素分子或過錳酸根離子的碰撞機會所造成。

紅水滴入1M氯化鈉水溶液



紅水滴入2M氯化鈉水溶液



過錳酸鉀滴入1M氯化鈉水溶液



過錳酸鉀滴入2M氯化鈉水溶液

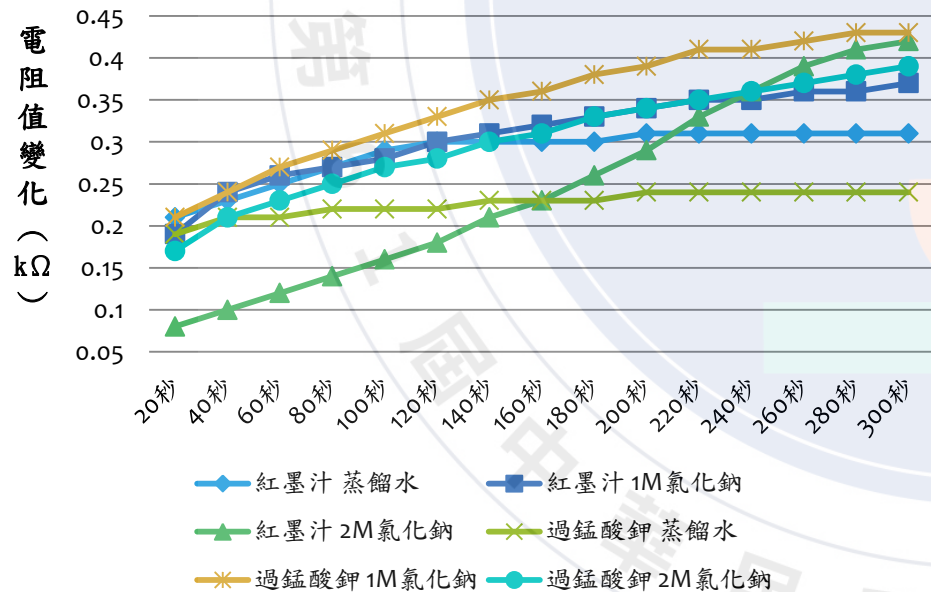


# 實驗E-研究結果與討論(2/2)

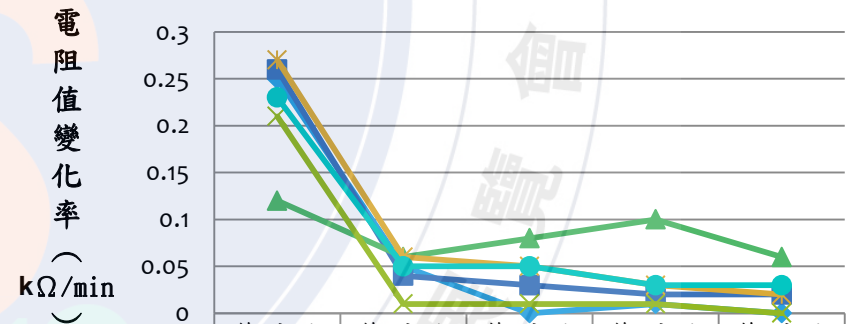
(1) 前20秒顯示紅墨水滴入2M氯化鈉水溶液的散布最為緩慢，但在20秒之後的斜率變化卻最為明顯。

(2) 過錳酸鉀滴入水中的散布速率比紅墨水來的慢，但滴入氯化鈉水溶液中其散布速率比紅墨水快。

圖E-1 紅墨水和過錳酸鉀滴入氯化鈉(30°C)中電阻值(kΩ)隨時間的變化情形



圖E-2 紅墨水和過錳酸鉀滴入氯化鈉水溶液(30°C)中的光敏電阻值變化速率



	第1分鐘	第2分鐘	第3分鐘	第4分鐘	第5分鐘
紅墨水蒸餾水	0.25	0.05	0	0.01	0
紅墨水 1M 氯化鈉	0.26	0.04	0.03	0.02	0.02
紅墨水 2M 氯化鈉	0.12	0.06	0.08	0.1	0.06
過錳酸鉀 蒸餾水	0.21	0.01	0.01	0.01	0
過錳酸鉀 1M 氯化鈉	0.27	0.06	0.05	0.03	0.02
過錳酸鉀 2M 氯化鈉	0.23	0.05	0.05	0.03	0.03

# 研究結論與展望

- (1) 紅墨水滴入水中的散布情形隨著容器的形態、落下高度和水溫不同而有所差異，但擴散速率並非隨溫度升高而均勻提升。
- (2) 紅墨水滴入不同水溶液時，水溶液的密度是影響前段時間散布情形的關鍵，而後段時間的散布速率則與溶液中所含水以外的分子或離子的數量有關。
- (3) 溫度升高對過錳酸根離子擴散速率的提升效果優於紅墨水分子；當滴入相同濃度的氯化鈉水溶液時，過錳酸根離子的散布效果也會優於紅墨水分子。
- (4) 期望未來能利用此方式進行更多有色分子，正離子，負離子的實驗，藉此歸納出不同型態的微小粒子在溶液中散布情形的模式。



# 參考資料

1. 陳義裕(2005)。賭博、擴散與擴散實驗。物理雙月刊27卷6期。
2. 中華民國第47屆中小學科學展覽會：散光彈--探討溶液性質對擴散行為的影響
3. 中華民國第50屆中小學科學展覽會：潛「移」默化的無形小子-粒子在水中移動擴散的研究
4. 中華民國第58屆中小學科學展覽會：隧散-電解質與非電解質之擴散界面現象探討
5. 科學Online高瞻自然科學教學資源平台。取自：  
<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=4851>
6. 科學Online高瞻自然科學教學資源平台。取自：  
<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=3356>
7. 科學Online高瞻自然科學教學資源平台。取自：  
<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=2711>