

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

030215

您喝的水多「氣」了嗎

學校名稱：桃園市立瑞原國民中學

作者： 國三 莊博瑋 國三 葉智龍 國三 張定閔	指導老師： 吳振豪 林晏如
---	-----------------------------

關鍵詞：光敏電阻、沉澱反應、氯離子檢測

摘要

利用光敏電阻在沉澱反應中沉澱物遮蔽光量而使電阻值提高的特性，設計簡單、成本低、較精確、操作方便等優點儀器，取代課程中以肉眼觀測的方式探討溫度對反應速率的影響。在相同溫度下重複施測，「光敏電阻」的 5 個反應速率觀測值離散幅度明顯小於「肉眼觀測」的離散幅度。「肉眼觀測」在反應時間極短的沉澱反應，會因人為操作因素使實驗數據誤差過大而失去分析價值，而「光敏電阻」因測得時間為完全反應所需時間，其時間較長，可減少人為操作而造成誤差。

將光敏電阻儀器應用於製作氯離子濃度和光敏電阻值 R 的檢測函數和圖形，應用於日常生活中不同煮沸時間自來水中剩餘氯離子濃度、各種不同類型水中氯離子濃度、各種不同類型砂石氯離子濃度。

壹、研究動機

翰林版第四冊實驗 4-2 溫度對反應速率影響:不同溫度的硫代硫酸鈉($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)和鹽酸(HCl)混合，所產生硫(S)的沉澱遮蔽燒杯底符號所需要的時間，來判斷反應物溫度與反應速率之間的關係時，當時便覺得用人的主觀判斷來做為實驗數據的方法很不科學，只能粗略地得出「反應物溫度越高，反應速率越快」的結論，沒有精確的數據便無法確切得知「溫度」和「反應速率」確實的關係。翰林版第五冊第四章老師介紹各種可變電阻時，其中「光敏電阻」的電阻值和光線的強弱有直接關係：光強度增加，則電阻減小；光強度減小，則電阻增大。翰林版第六冊第一章用電安全中老師介紹「光電式煙霧偵測器」的原理是偵測器之受光部份於平時能正常收受由發光部射出之光束，當煙霧進入探測器內，將會遮去部分光源，使得受光部之受光量減少，當光量減少達到一定值時，偵測器開始發出警報。

我們進一步閱讀「光敏電阻」和「光電式煙霧偵測器」的資料發現：可以結合兩者的概念改良不同溫度下硫代硫酸鈉和鹽酸反應的實驗，我們設計光敏電阻的實驗裝置：讓 LED 燈照射硫代硫酸鈉和鹽酸反應的沉澱物硫，另一方用三用電表測量光敏電阻的電阻值變化情形，以求更精確了解反應物溫度與反應速率之間的關係。

此外，我們知道建築物若為高氯離子建築物者，鋼筋表面的混凝土品質會因氯離子侵入將造成鋼筋腐蝕和混凝土剝落而鋼筋外露，將影響建物結構安全。我們還想將此實驗裝置用

來簡易測量海沙中氯離子、自來水中的氯離子和各種飲用水中氯離子，我們希望將課堂中所學的原理實際應用於日常生活之中，並針對實驗的缺點和問題加以改進，培養正確的科學態度和精神。

貳、研究目的

一、學習使用定量瓶、吸量管、電子天平取代教科書常用的量筒、上皿天更精確調配出實驗用化學藥劑。

二、利用光敏電阻在沉澱反應中沉澱物遮蔽光量而使電阻值提高的特性，用來探討以下實驗各項變因的關係：

1. 三種沉澱實驗：硫代硫酸鈉($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)和鹽酸(HCl)、氯化鉀(KCl)和硝酸銀(AgNO_3)、硫酸鈉(Na_2SO_4)和氯化鋇(BaCl_2)，反應物固定濃度體積，探討在不同溫度下分別以「肉眼」及「光敏電阻」觀測反應時間和溫度的關係，分析討論兩種觀測方法之優劣。

2. 光敏電阻於日常生活應用：利用光敏電阻在沉澱反應中電阻變化的特性，找出製作「 Cl^- 」和光敏電阻值 R 的檢測函數和函數圖形。進一步檢測探討不同煮沸時間自來水中餘氯的濃度、各種不同類型水中氯離子的濃度、各種不同類型砂石氯離子的濃度。

三、培養在實驗過程中解決問題、分析各種影響實驗結果變因、討論實驗數據和結果等科學探究能力、精神及態度。

參、研究設備及器材

一、藥品：1M 硫代硫酸鈉($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)、1M 鹽酸(HCl)；0.1M 硝酸銀(AgNO_3)、1M 氯化鈉(NaCl)；500g 海沙、500g 河沙、500g 建築沙、1L 蒸餾水。

藥品名稱	濃度	體積或質量	備註
硫代硫酸鈉($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)	1M	2L	
鹽酸(HCl)	1M	2L	
硝酸銀(AgNO_3)	0.05M	2L	
氯化鉀(KCl)	0.1M	2L	
硫酸鈉(Na_2SO_4)	0.1M	2L	
氯化鋇(BaCl_2)	0.1M	2L	

硝酸銀(AgNO ₃)	0.002M	1L	
氯化鉀(KCl)	0.0002M~0.002M	各 100ml	10 種濃度
各種類型水		各 2L	自來水、蒸餾水、過濾水、逆滲透水、飲水機水、海洋深層水(5 種)
各種砂石		各 1Kg	海沙、河口沙、建築砂

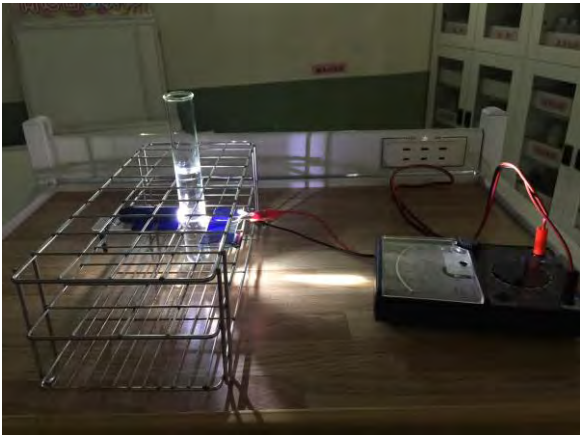
二、 器材:

器材名稱	數量	器材名稱	數量
LED 手電筒(含電池)	1	100ml 燒杯	10
光敏電阻	1	250ml 定量瓶	8
鱷魚夾導線	2	10ml 吸量管	8
手機(計時用)	1	250ml 燒杯	4
溫度計	1	白紙、黑色簽字筆	各 1
試管(含試管架)	30	可定溫暖風扇	1

儀器圖示：光敏電阻觀測組



肆、研究過程或方法



反應開始(未沉澱):電阻較小



反應結束(沉澱):電阻變大

第一部份:三種沉澱實驗，反應物固定濃度體積，在不同溫度下分別以「肉眼」及「儀器」觀測反應速率和溫度的關係。

一、實驗一:分別以「肉眼」和「光敏電阻」針對不同溫度下，固定濃度體積的硫代硫酸鈉($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)和鹽酸(HCl)反應時間的測量。

(一) 對照組(肉眼):

1. 將 1M 的硫代硫酸鈉($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)和 1M 鹽酸(HCl)分裝至試管中。
2. 在白紙上畫一個直徑 5cm 實心黑色圓點記號，在它上面放置一個燒杯。
3. 將兩試管藥品倒入空燒杯後，開始計時和測量實驗時溫度，直到沉澱物完全遮住黑色圓點後，紀錄反應所需時間(實驗時適逢寒流，為使實驗溫度不因環境溫度太低而下降太快，故以下實驗皆使用暖風扇使環境溫度跟該次實驗溫度相同，該次實驗溫度超過 37°C ，暖風扇維持 37°C ，以減少環境溫度造成實驗溫度的誤差。)
4. 將試管隔水加熱，每隔 5°C ，重複步驟 1~3；反覆實驗五次。(避免加熱板加熱過快，使溫度計測量發生誤差，故以下實驗溫度皆先升至較高溫度後下降至所需實驗溫度再迅速進行實驗。)

(二) 實驗組(光敏電阻):

1. 將 1M 的硫代硫酸鈉($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)和 1M 鹽酸(HCl)分裝至試管中。
2. 拉上窗簾並關閉室內燈光，此時光敏電阻在三用電表中電阻值趨近於零。
3. 開啟 LED 光源，將兩試管藥品倒入空試管後開始計時和測量實驗時溫度，直到三

用電表電阻值沒有太大變化後，紀錄反應所需時間。

4. 將試管隔水加熱，每隔 5°C，重複步驟 1~3；反覆實驗五次。

二、實驗二：分別以「肉眼」和「光敏電阻」針對不同溫度下，固定濃度體積的氯化鉀(KCl)和硝酸銀(AgNO₃)反應時間的測量。

(一)對照組(肉眼):

1. 以蒸餾水調配藥品，將 0.1M 的氯化鉀(KCl)和 0.05M 硝酸銀(AgNO₃)分裝至試管。
2. 在白紙上畫一個直徑 5cm 實心黑色圓點記號，在它上面放置一個燒杯。
3. 將兩試管藥品倒入空燒杯後，開始計時和測量實驗時溫度，直到沉澱物完全遮住黑色圓點後，紀錄反應所需時間。
4. 將試管隔水加熱，每隔 5°C，重複步驟 1~3；反覆實驗五次。

(二)實驗組(光敏電阻):

1. 將 0.1M 的氯化鉀(KCl)和 0.05M 硝酸銀(AgNO₃)分裝至試管。
2. 拉上窗簾並關閉室內燈光，此時光敏電阻在三用電表中電阻值趨近於零。
3. 開啟 LED 光源，將兩試管藥品倒入空試管後開始計時和測量實驗時溫度，直到三用電表電阻值沒有太大變化後，紀錄反應所需時間。
4. 將試管隔水加熱，每隔 5°C，重複步驟 1~3；反覆實驗五次。

三、實驗三：分別以「肉眼」和「光敏電阻」針對不同溫度下，固定濃度體積的硫酸鈉(Na₂SO₄)和氯化鋇(BaCl₂)反應時間的測量。

(一)對照組(肉眼):

1. 將 0.1M 的硫酸鈉(Na₂SO₄)和氯化鋇(BaCl₂)分裝至試管。
2. 在白紙上畫一個直徑 5cm 實心黑色圓點記號，在它上面放置一個燒杯。
3. 將兩試管藥品倒入空燒杯後，開始計時和測量實驗時溫度，直到沉澱物完全遮住黑色圓點後，紀錄反應所需時間。
4. 將試管隔水加熱，每隔 5°C，重複步驟 1~3；反覆實驗五次。

(二)實驗組(光敏電阻):

1. 將 0.1M 的硫酸鈉(Na₂SO₄)和氯化鋇(BaCl₂)分裝至試管。
2. 拉上窗簾並關閉室內燈光，此時光敏電阻在三用電表中電阻值趨近於零。

3.開啟 LED 光源，將兩試管藥品倒入空試管後開始計時和測量實驗時溫度，直到三用電表電阻值沒有太大變化後，紀錄反應所需時間。

4.將試管隔水加熱，每隔 5°C，重複步驟 1~3；反覆實驗五次。

第二部份:光敏電阻於日常生活應用，利用光敏電阻在沉澱反應中電阻變化的特性:檢測不同煮沸時間自來水中餘氯的濃度、各種不同類型水中氯離子的濃度、各種不同類型砂石氯離子的濃度。

一、實驗四: 製作〔Cl⁻〕和光敏電阻值 R 的檢測函數和函數圖形。

1. 以蒸餾水調配 0.002M 硝酸銀(AgNO₃)溶液及 0.0002M~0.002M 等 10 種濃度氯化鉀(KCl) 溶液。

2.取 0.002M 硝酸銀(AgNO₃)溶液 10ml 和 0.0002M~0.002M 等 10 種濃度氯化鉀(KCl) 溶液 10ml 分別混合於試管中，紀錄每次實驗光敏電阻最大電阻值。

3.重複步驟 1-2 五次，計算〔Cl⁻〕檢測函數和函數圖形。

二、實驗五: 檢測不同煮沸時間自來水中餘氯的濃度。

1.分別取用 10ml 室溫、剛煮沸、煮沸 5 分鐘、煮沸 10 分鐘、煮沸 15 分鐘、煮沸 20 分鐘、煮沸 25 分鐘、煮沸 30 分鐘、煮沸 35 分鐘自來水於試管中。

2.將不同煮沸時間自來水分別和 10ml 0.002M 硝酸銀(AgNO₃)溶液混合後，量測每次實驗光敏電阻最大電阻值。

3.重複步驟 1-2 五次，紀錄每次實驗光敏電阻最大電阻值。

三、實驗六: 檢測各種不同類型水源中氯離子的濃度。

1.分別取用 10ml 海水、濾水器水、逆滲透水、飲水機水、海洋深層水(光泉)、海洋深層水(光隆生化)、海洋深層水(台鹽)、海洋深層水(形動)、海洋深層水(舒跑)等九種不同類水源。

2.將各種不同類型水源分別和 10ml 0.002M 硝酸銀(AgNO₃)溶液混合後，量測每次實驗光敏電阻最大電阻值。

3.重複步驟 1-2 五次，紀錄每次實驗光敏電阻最大電阻值。

四、實驗七: 各種不同類型砂石氯離子的濃度。

1.取 30ml 蒸餾水和 128.5g 海砂均勻攪拌混合，再以濾紙過濾出 10ml 海砂水於試管中待用。

- 2.以浸泡海砂、浸泡河口砂(質量比砂:水=1:10 浸泡 24 小時)、河口砂、建築砂以步驟 1 比例分別過濾取得 10ml 浸泡海砂水、浸泡河口砂水、河口砂水、建築砂水待用。
3. 將各種不同類型砂石水分別和 10ml 0.002M 硝酸銀(AgNO₃)溶液混合後，量測每次實驗光敏電阻最大電阻值。
4. 重複步驟 1-2 五次，紀錄每次實驗光敏電阻最大電阻值。

伍與陸、研究結果與討論

第一部份:三種沉澱實驗，反應物固定濃度體積，在不同溫度下分別以「肉眼」及「儀器」觀測反應速率和溫度的關係。

【研究結果】

一、實驗一:分別以「肉眼」和「光敏電阻」針對不同溫度下，固定濃度及體積的硫代硫酸鈉(Na₂S₂O₃)和鹽酸(HCl)反應時間的測量。 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{S} \downarrow + \text{SO}_2 \uparrow + \text{NaCl}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}$

(一)對照組(肉眼): 1M 的硫代硫酸鈉(Na₂S₂O₃)和 1M 鹽酸(HCl)

表 1-1 對照組(肉眼) 溫度對反應時間的描述性統計表

肉眼	反應時間 (S)						標準差
	t1	t2	t3	t4	t5	t(平均)	
溫度 T(°C)							SD
17.2	11.55	12.58	13.56	10.54	14.32	12.51	1.5154
22.2	8.5	9.29	10.83	10.12	12.41	10.23	1.5001
27.2	6.98	8.12	8.52	9.25	10.64	8.70	1.3595
32.2	6.45	7.63	6.86	8.59	9.11	7.73	1.1235
37.2	3.99	5.24	5.14	7.44	7.36	5.83	1.5118
42.2	2.76	4.21	3.87	7.12	5.85	4.76	1.7214
47.2	3.2	4.32	3.12	5.78	4.18	4.12	1.0777
52.2	2.63	3.79	2.65	4.83	3.51	3.48	0.9125
57.2	2.27	2.98	2.17	2.87	2.39	2.54	0.3656
62.2	1.52	2.32	1.23	2.19	1.48	1.75	0.4782

表 1-2 對照組(肉眼) 溫度對反應速率的描述性統計表

溫度	個數	反應速率平均數	標準差	標準誤	平均數的 95% 信賴區間		最小值	最大值
					下界	上界		
17.2	5	.080900	.0100685	.0045028	.068398	.093402	.0698	.0949
22.2	5	.099380	.0141659	.0063352	.081791	.116969	.0806	.1176
27.2	5	.117200	.0182914	.0081802	.094488	.139912	.0940	.1433
32.2	5	.131620	.0190770	.0085315	.107933	.155307	.1098	.1550
37.2	5	.181260	.0482970	.0215991	.121291	.241229	.1344	.2506
42.2	5	.233900	.0863293	.0386077	.126708	.341092	.1404	.3623
47.2	5	.255340	.0614854	.0274971	.178996	.331684	.1730	.3205
52.2	5	.302680	.0751118	.0335910	.209416	.395944	.2070	.3802
57.2	5	.400740	.0558628	.0249826	.331377	.470103	.3356	.4608
62.2	5	.606840	.1607347	.0718827	.407262	.806418	.4310	.8130
總和	50	.240986	.1688180	.0238745	.193008	.288964	.0698	.8130

(二)實驗組(光敏電阻): 1M 的硫代硫酸鈉($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)和 1M 鹽酸(HCl)

表 1-3 實驗組(光敏電阻) 溫度對反應時間的描述性統計表

光敏電阻	反 應 時 間 (S)					標準差		電阻值(Ω)
	t1	t2	t3	t4	t5	t(平均)	SD	
溫度 T($^{\circ}\text{C}$)								R($\times 10\text{K}$)
17.2	58.24	58.64	57.81	57.54	59.12	58.27	0.6334	22-180
22.2	32.27	32.56	32.33	31.89	33.21	32.45	0.4874	22-180
27.2	19.47	19.62	19.14	18.98	20.32	19.51	0.5214	22-180
32.2	13.26	13.42	13.01	12.34	13.66	13.14	0.5050	22-180
37.2	10.58	11.12	10.35	11.21	11.87	11.03	0.5939	22-180
42.2	7.51	7.85	7.45	8.15	8.54	7.90	0.4553	22-180
47.2	6.34	6.56	6.23	6.88	7.01	6.60	0.3363	22-180
52.2	5.34	5.77	5.36	5.43	6.21	5.62	0.3717	22-180
57.2	4.52	5.02	4.88	4.69	5.23	4.87	0.2771	22-180
62.2	3.96	4.18	3.76	4.22	4.45	4.11	0.2634	22-180

表 1-4 實驗組(光敏電阻) 溫度對反應速率的描述性統計表

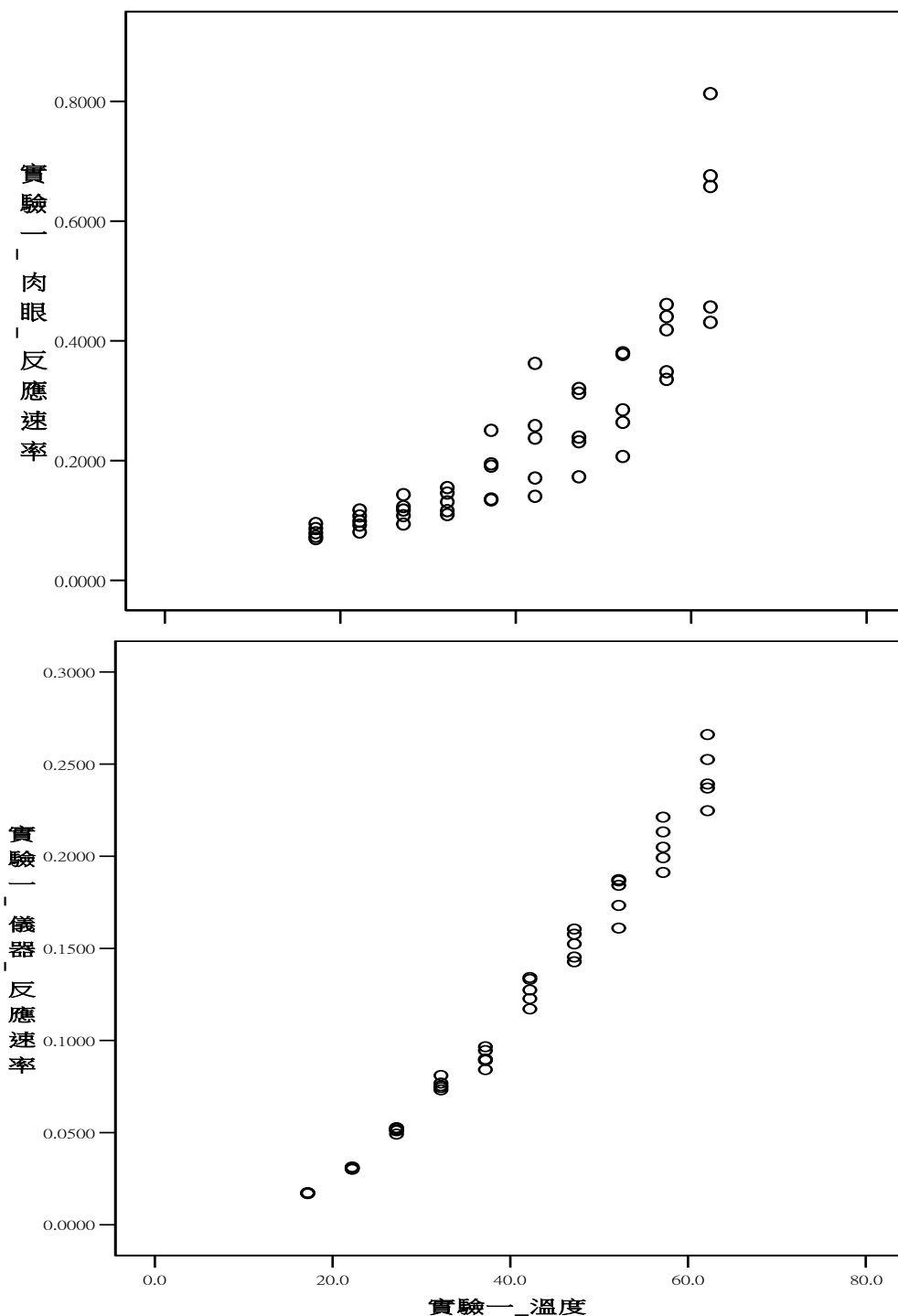
溫度	個數	反應速率平均數	標準差	標準誤	平均數的 95% 信賴區間		最小值	最大值
					下界	上界		
17.2	5	.017180	.0001924	.0000860	.016941	.017419	.0169	.0174
22.2	5	.030820	.0004764	.0002131	.030228	.031412	.0301	.0314
27.2	5	.051300	.0013491	.0006033	.049625	.052975	.0492	.0527
32.2	5	.076200	.0030025	.0013428	.072472	.079928	.0732	.0810
37.2	5	.090880	.0048536	.0021706	.084854	.096906	.0842	.0966
42.2	5	.126920	.0071921	.0032164	.117990	.135850	.1171	.1342
47.2	5	.151720	.0076793	.0034343	.142185	.161255	.1427	.1605
52.2	5	.178480	.0112786	.0050439	.164476	.192484	.1610	.1873
57.2	5	.205940	.0117191	.0052410	.191389	.220491	.1912	.2212
62.2	5	.243880	.0158170	.0070736	.224241	.263519	.2247	.2660
總和	50	.117332	.0740063	.0104661	.096300	.138364	.0169	.2660

【討論】

1.由表 1-1 及表 1-3 可知，相同溫度下「肉眼觀測」所測的反應時間皆小於「光敏電阻」觀測所測得的反應時間，推論「光敏電阻」以完全反應使電阻值達到最大值為測量標準；「肉眼觀測」以沉澱物遮住黑色圓點記號(尚未完全反應)為測量標準。「肉眼觀測」反應時間的標準差平均約為 1.16，且溫度越低，反應時間越長，標準差越大；「光敏電阻」反應時間的標準差平均約為 0.44，且溫度越低，反應時間越長，標準差差異不明顯，由此可推論，光敏電阻觀測較肉眼觀測更不易受溫度、人為因素或其他變因干擾而產生誤差。

2.由表 1-2 及表 1-4 可知，相同溫度下「光敏電阻」反應速率的標準差皆小於「肉眼觀測」反應速率的標準差，在相同溫度下，5 次實驗中「光敏電阻」測得反應速率的離散狀況應該會小於「肉眼觀測」測得反應速率的離散狀況。且不同溫度「光敏電阻」反應速率的標準差平均 0.074 亦小於「肉眼觀測」反應速率的標準差平均 0.1688，由此可推論，「光敏電阻」觀測較「肉眼觀測」更不易受溫度、人為因素或其他變因干擾而產生誤差。

3. 「肉眼觀測」以及「光敏電阻」所測得的溫度與反應速率做成散佈圖，如圖 1-1 及 1-2。



從圖 1-1 及 1-2 比較可知，當溫度在 17.2 度時，「光敏電阻」5 次所得的反應速率觀測值皆落在同一個點上，「肉眼觀測」5 次反應速率觀測值則分散成不同的點。顯示即使在溫度較低，反應速率較小的情況下，「肉眼觀測」的人為誤差仍較「光敏電阻」來得大。當溫度越高，兩組的反應速率觀測值離散情況越明顯，但「光敏電阻」的離散情況明顯小於「肉眼觀測」的離散情況。因此我們推論，溫度越高，反應速率越快，因此出現的人為誤差也會越明顯，但

以「光敏電阻」進行測量將能夠將人為誤差降低。

【研究結果】

二、實驗二: 分別以「肉眼」和「光敏電阻」針對不同溫度下，固定濃度體積的氯化鉀(KCl)和硝酸銀(AgNO₃)反應時間的測量。 $KCl + AgNO_3 \rightarrow AgCl \downarrow + KNO_3(aq)$

(一)對照組(肉眼): 0.1M 的氯化鉀(KCl)和 0.05M 硝酸銀(AgNO₃)

表 2-1 對照組(肉眼) 溫度對反應時間的描述性統計表

肉眼 溫度 T(°C)	反 應 時 間 (S)						標準差 SD
	t1	t2	t3	t4	t5	t(平均)	
18.9	1.3	1.87	1.65	1.74	1.36	1.58	0.2456
23.9	1.62	1.76	1.4	1.65	1.88	1.66	0.1787
28.9	1.3	1.52	1.35	1.45	1.77	1.48	0.1843
33.9	1.66	1.67	1.33	1.56	1.75	1.59	0.1623
38.9	1.54	1.45	1.88	1.67	1.47	1.60	0.1777
43.9	1.34	1.33	1.65	1.63	1.55	1.50	0.1552
48.9	1.23	1.29	1.44	1.54	1.55	1.41	0.1451
53.9	1.59	1.27	1.27	1.52	1.45	1.42	0.1456
58.9	1.14	1.37	1.22	1.45	1.5	1.34	0.1524
63.9	1.55	1.45	0.89	1.56	1.76	1.44	0.3284

表 2-2 對照組(肉眼) 溫度對反應速率的描述性統計表

溫度	個數	反應速率			平均數的 95% 信賴區間		最小值	最大值
		平均數	標準差	標準誤	下界	上界		
19	5	.644020	.1026819	.0459207	.516524	.771516	.5348	.7692
24	5	.607560	.0684910	.0306301	.522517	.692603	.5319	.7143
29	5	.684500	.0796043	.0356001	.585658	.783342	.5650	.7692
34	5	.633100	.0708903	.0317031	.545078	.721122	.5714	.7519
39	5	.630020	.0653215	.0292127	.548913	.711127	.5319	.6897
44	5	.672600	.0713898	.0319265	.583958	.761242	.6061	.7519
49	5	.715440	.0755428	.0337837	.621641	.809239	.6452	.8130
54	5	.710260	.0736290	.0329279	.618838	.801682	.6289	.7874
59	5	.756640	.0891578	.0398726	.645936	.867344	.6667	.8772
64	5	.733540	.2223588	.0994419	.457445	1.009635	.5682	1.1236
總和	50	.678768	.1039015	.0146939	.649240	.708296	.5319	1.1236

(二) 實驗組(光敏電阻): 0.1M 的氯化鉀(KCl)和 0.05M 硝酸銀(AgNO₃)

表 2-3 實驗組(光敏電阻) 溫度對反應時間的描述性統計表

光敏電阻	反應時間 (S)						標準差	電阻值(Ω)
	t1	t2	t3	t4	t5	t(平均)		
18.9	27.3	28.53	27.77	26.76	28.32	27.74	0.7272	22-60
23.9	23.7	24.65	24.87	24.97	25.41	24.72	0.6337	22-60
28.9	16.07	17.54	16.88	18.11	17.49	17.22	0.7755	22-60
33.9	12.89	13.23	12.99	14.1	13.67	13.38	0.5043	22-60
38.9	8.75	9.29	8.37	7.99	7.36	8.35	0.7338	22-60
43.9	5.27	5.88	6.12	5.01	5.85	5.63	0.4650	22-60
48.9	4.56	4.12	4.89	4.36	4.18	4.42	0.3129	22-60
53.9	3.3	3.79	3.44	3.56	3.51	3.52	0.1799	22-60
58.9	2.12	2.24	2.54	2.66	2.44	2.40	0.2195	22-60
63.9	1.43	1.55	1.49	1.33	1.2	1.40	0.1382	22-60

表 2-4 實驗組(光敏電阻) 溫度對反應速率的描述性統計表

溫度	個數	反應速率 平均數	標準差	標準誤	平均數的 95% 信賴區間		最小值	最大值
					下界	上界		
19	5	.036080	.0009471	.0004236	.034904	.037256	.0351	.0374
24	5	.040480	.0010545	.0004716	.039171	.041789	.0394	.0422
29	5	.058160	.0026661	.0011923	.054850	.061470	.0552	.0622
34	5	.074860	.0027871	.0012464	.071399	.078321	.0709	.0776
39	5	.120500	.0107831	.0048223	.107111	.133889	.1076	.1359
44	5	.178760	.0152389	.0068150	.159838	.197682	.1634	.1996
49	5	.227020	.0155453	.0069521	.207718	.246322	.2045	.2427
54	5	.284680	.0143004	.0063953	.266924	.302436	.2639	.3030
59	5	.419500	.0390805	.0174773	.370975	.468025	.3759	.4717
64	5	.720160	.0746142	.0333685	.627514	.812806	.6452	.8333
總和	50	.216020	.02083150	.0294602	.156818	.275222	.0351	.8333

【討論】

1.由表 2-1 及表 2-3 可知,「肉眼觀測」所測反應時間是以沉澱物遮住黑色圓點記號(未完全反應)為測量標準,實驗二反應時間極短,平均約只有 1.5 秒,各種不同溫度反應時間接近且無明顯隨溫度不同而發生變化,無法顯現溫度越高,反應時間越短的特性,推論是反應時間過短使人為操作因素影響反應時間遠大於溫度因素,使得「肉眼觀測」實驗數據完全沒有實用價值。「光敏電阻」所測反應時間較長是因為以完全反應使電阻值達到最大為測量標準,光敏

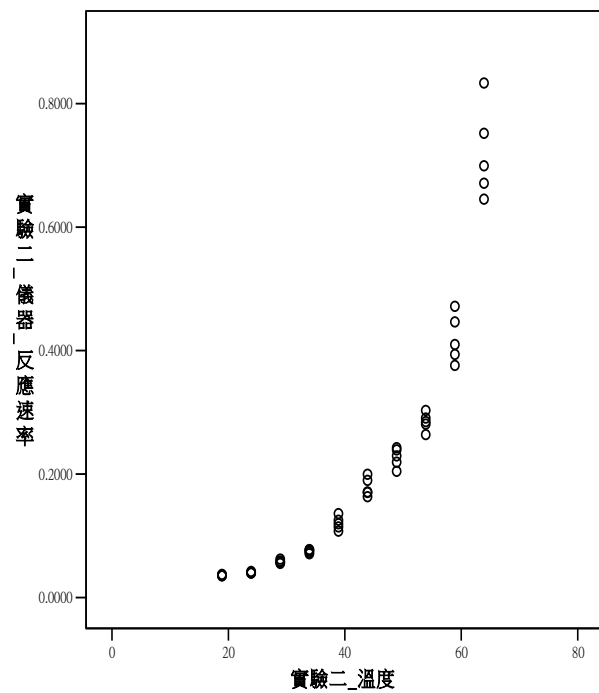
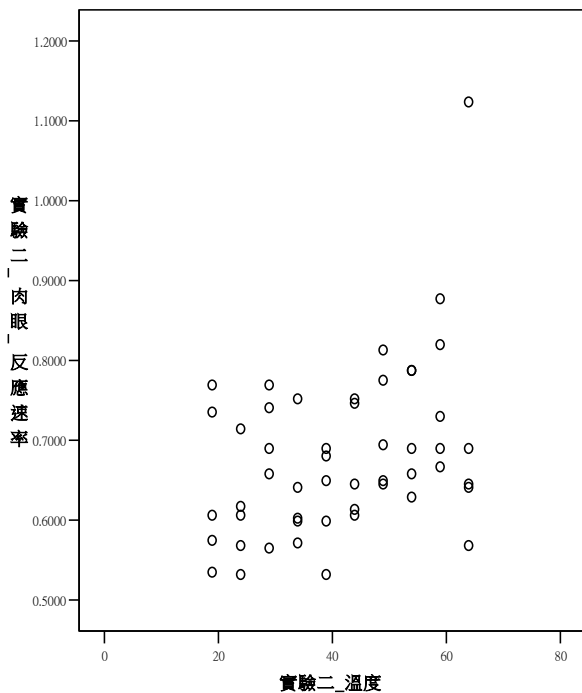
電阻觀測反應時間長，標準差小可顯示光敏電阻觀測較肉眼觀測更不易受人為操作因素而產生離譜數據。

2.由表 2-2 及表 2-4 可知，相同溫度下「光敏電阻」反應速率的標準差皆小於「肉眼觀測」反應速率的標準差，在相同溫度下，5 次實驗中「光敏電阻」測得反應速率的離散狀況應該會小於「肉眼觀測」測得反應速率的離散狀況。且不同溫度「光敏電阻」反應速率的標準差平均 0.0208 亦小於「肉眼觀測」反應速率的標準差平均 0.1039，由此可推論，「光敏電阻」觀測較「肉眼觀測」更不易受溫度、人為因素或其他變因干擾而產生誤差。

3.將「肉眼觀測」及「光敏電阻」所測得的溫度與反應速率觀測值做成散佈圖，如圖 2-1 及 2-2。

圖 2-1 (肉眼)溫度對反應速率影響的散佈圖

圖 2-2 (光敏電阻)溫度對反應速率影響的散佈圖



從圖 1-1 及 1-2 比較可知，當溫度在 19 度時，「光敏電阻」5 次所得的反應速率觀測值皆落在同一個點上，「肉眼觀測」5 次反應速率觀測值則分散成不同的點。顯示即使在溫度較低，反應速率較小的情況下，「肉眼觀測」的人為誤差仍較「光敏電阻」來得大。當溫度越高，兩組的反應速率觀測值離散情況越明顯，但「光敏電阻」的離散情況明顯小於「肉眼觀測」的離散情況。因此我們推論，溫度越高，反應速率越快，因此出現的人為誤差也會越明顯，但以「光敏電阻」進行測量將能夠將人為誤差降低。此外，以「肉眼觀測」實驗二離散程度較

實驗一明顯，推論可能因反應時間過短而使人為誤差放大導致。

【研究結果】

三、實驗三：分別以「肉眼」和「光敏電阻」針對不同溫度下，固定濃度體積的硫酸鈉(Na_2SO_4)和氯化鋇(BaCl_2)反應時間的測量。 $\text{BaCl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{BaSO}_4 \downarrow + \text{NaCl}_{(\text{aq})}$

(一)對照組(肉眼): 0.1M 的硫酸鈉(Na_2SO_4)和 0.1M 氯化鋇(BaCl_2)

表 3-1 對照組(肉眼) 溫度對反應時間的描述性統計表

肉眼 溫度 T(°C)	反應時間 (S)						標準差 SD
	t1	t2	t3	t4	t5	t(平均)	
20	1.43	1.65	1.33	1.88	1.63	1.58	0.2135
25	1.58	1.79	1.66	2.11	1.59	1.75	0.2201
30	1.33	1.99	1.25	1.45	1.55	1.51	0.2896
35	1.65	1.45	1.43	1.66	1.87	1.61	0.1801
40	1.29	1.37	1.76	1.39	1.61	1.48	0.1946
45	1.68	1.59	1.53	1.29	1.1	1.44	0.2378
50	1.41	1.51	1.42	1.76	1.37	1.49	0.1573
55	1.21	1.39	1.45	1.45	1.65	1.43	0.1575
60	1.09	1.22	1.17	1.39	1.02	1.18	0.1410
65	0.87	0.99	1.29	1.31	0.56	1.00	0.3125

表 3-2 對照組(肉眼) 溫度對反應速率的描述性統計表

溫度	個數	反應速率			平均數的 95% 信賴區間		最小值	最大值
		平均數	標準差	標準誤	下界	上界		
20	5	.640540	.0859850	.0384537	.533775	.747305	.5319	.7519
25	5	.579360	.0659550	.0294960	.497466	.661254	.4739	.6329
30	5	.677860	.1144095	.0511655	.535802	.819918	.5025	.8000
35	5	.626460	.0683738	.0305777	.541563	.711357	.5348	.6993
40	5	.682760	.0851994	.0381023	.576971	.788549	.5682	.7752
45	5	.712400	.1292287	.0577928	.551941	.872859	.5952	.9091
50	5	.674760	.0644273	.0288128	.594763	.754757	.5682	.7299
55	5	.706260	.0793517	.0354872	.607732	.804788	.6061	.8264
60	5	.858320	.0989916	.0442704	.735406	.981234	.7194	.9804
65	5	1.096760	.4181653	.1870092	.577539	1.615981	.7634	1.7857
總和	50	.725548	.2020135	.0285690	.668136	.782960	.4739	1.7857

(二) 實驗組(光敏電阻): 0.1M 的硫酸鈉(Na_2SO_4)和 0.1M 氯化鋇(BaCl_2)

表 3-3 實驗組(光敏電阻) 溫度對反應時間的描述性統計表

光敏電阻	反應時間 (S)						標準差	電阻值(Ω)
	t1	t2	t3	t4	t5	t(平均)		
溫度 T($^{\circ}\text{C}$)							SD	R($\times 10\text{K}$)
20	24.2	24.56	23.99	25.12	23.67	24.31	0.5574	22-50
25	18.12	18.56	17.88	19.01	18.34	18.38	0.4326	22-50
30	13.58	13.22	12.87	13.56	14.23	13.49	0.5045	22-50
35	9.54	9.99	8.79	9.19	9.44	9.39	0.4430	22-50
40	7.12	6.77	6.56	7.29	7.36	7.02	0.3437	22-50
45	5.78	5.88	5.34	5.67	5.85	5.70	0.2189	22-50
50	4.28	4.12	4.13	3.99	4.18	4.14	0.1051	22-50
55	2.54	2.33	2.41	2.29	2.55	2.42	0.1187	22-50
60	1.43	1.51	1.39	1.49	1.29	1.42	0.0879	22-50
65	0.69	0.77	0.66	0.72	0.81	0.73	0.0604	22-50

表 3-4 實驗組(光敏電阻) 溫度對反應速率的描述性統計表

溫度	個數	反應速率		標準誤	平均數的 95% 信賴區間		最小值	最大值
		平均數	標準差		下界	上界		
20	5	.041140	.0009290	.0004155	.039987	.042293	.0398	.0422
25	5	.054420	.0012637	.0005652	.052851	.055989	.0526	.0559
30	5	.074180	.0027399	.0012253	.070778	.077582	.0703	.0777
35	5	.106680	.0050653	.0022653	.100391	.112969	.1001	.1138
40	5	.142720	.0070864	.0031691	.133921	.151519	.1359	.1524
45	5	.175540	.0070109	.0031354	.166835	.184245	.1701	.1873
50	5	.241640	.0061687	.0027587	.233981	.249299	.2336	.2506
55	5	.413340	.0202008	.0090341	.388257	.438423	.3922	.4367
60	5	.705460	.0451091	.0201734	.649450	.761470	.6623	.7752
65	5	1.377340	.1127788	.0504362	1.237307	1.517373	1.2346	1.5152
總和	50	.333246	.04038638	.0571150	.218469	.448023	.0398	1.5152

【討論】

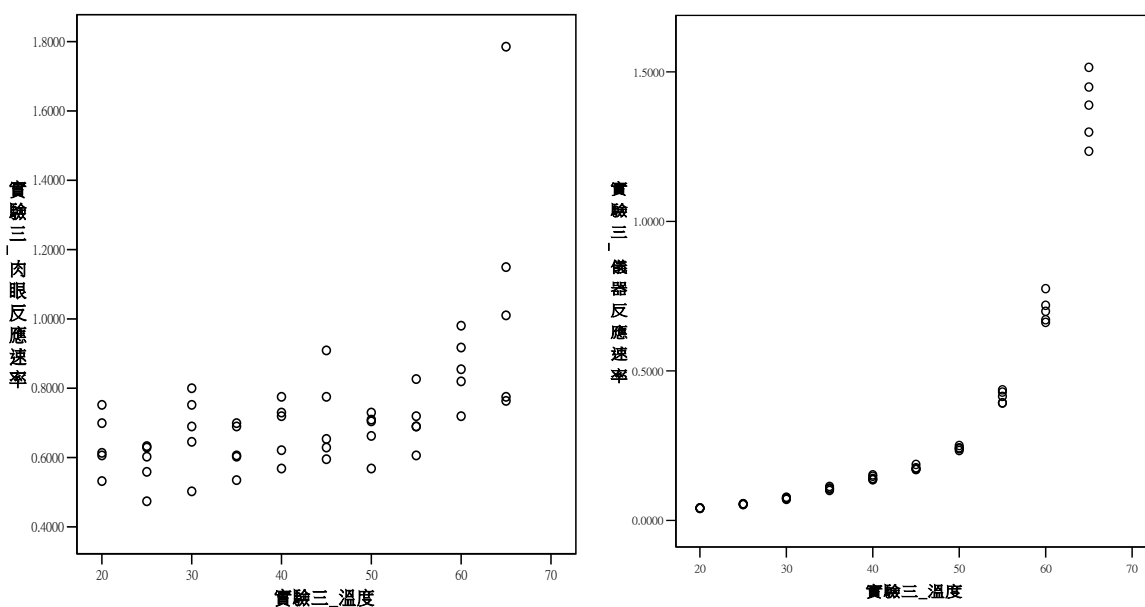
1.由表 3-1 及表 3-3 可知,「肉眼觀測」所測反應時間是以沉澱物遮住黑色圓點記號(未完全反應)為測量標準,實驗三反應時間極短,平均約只有 1.45 秒,各種不同溫度反應時間接近且無明顯隨溫度不同而發生變化,無法顯現溫度越高,反應時間越短的特性,推論是反應時間過短使人為操作因素影響反應時間遠大於溫度因素,使得「肉眼觀測」實驗數據完全沒有實用

價值。「光敏電阻」所測反應時間較長是因為以完全反應使電阻值達到最大為測量標準，光敏電阻觀測反應時間長，標準差小可顯示光敏電阻觀測較肉眼觀測更不易受人為操作因素而產生離譜數據。

2.由表 3-2 及表 3-4 可知，相同溫度下「光敏電阻」反應速率的標準差皆小於「肉眼觀測」反應速率的標準差，在相同溫度下，5 次實驗中「光敏電阻」測得反應速率的離散狀況應該會小於「肉眼觀測」測得反應速率的離散狀況。且不同溫度「光敏電阻」反應速率的標準差平均 0.0403 亦小於「肉眼觀測」反應速率的標準差平均 0.2020，由此可推論，「光敏電阻」觀測較「肉眼觀測」更不易受溫度、人為因素或其他變因干擾而產生誤差。

3. 「肉眼觀測」及「光敏電阻」所測得的溫度與反應速率觀測值做成散佈圖，如圖 3-1 及 3-2。

圖 3-1 (肉眼)溫度對反應速率影響的散佈圖 圖 3-2 (光敏電阻)溫度對反應速率影響的散佈圖



從圖 3-1 及 3-2 比較可得知，當溫度在 19 度時，「光敏電阻」5 次所得的反應速率觀測值皆落在同一個點上，「肉眼觀測」5 次反應速率觀測值則分散成不同的點。顯示即使在溫度較低，反應速率較小的情況下，「肉眼觀測」的人為誤差仍較「光敏電阻」來得大。當溫度越高，兩組的反應速率觀測值離散情況越明顯，但「光敏電阻」的離散情況明顯小於「肉眼觀測」的離散情況。因此我們推論，溫度越高，反應速率越快，因此出現的人為誤差也會越明顯，但以「光敏電阻」進行測量將能夠將人為誤差降低。此外，肉眼觀測組從 20 度開始至 65 度，所出現的反應速率觀測值的離散狀況較實驗一、二明顯。

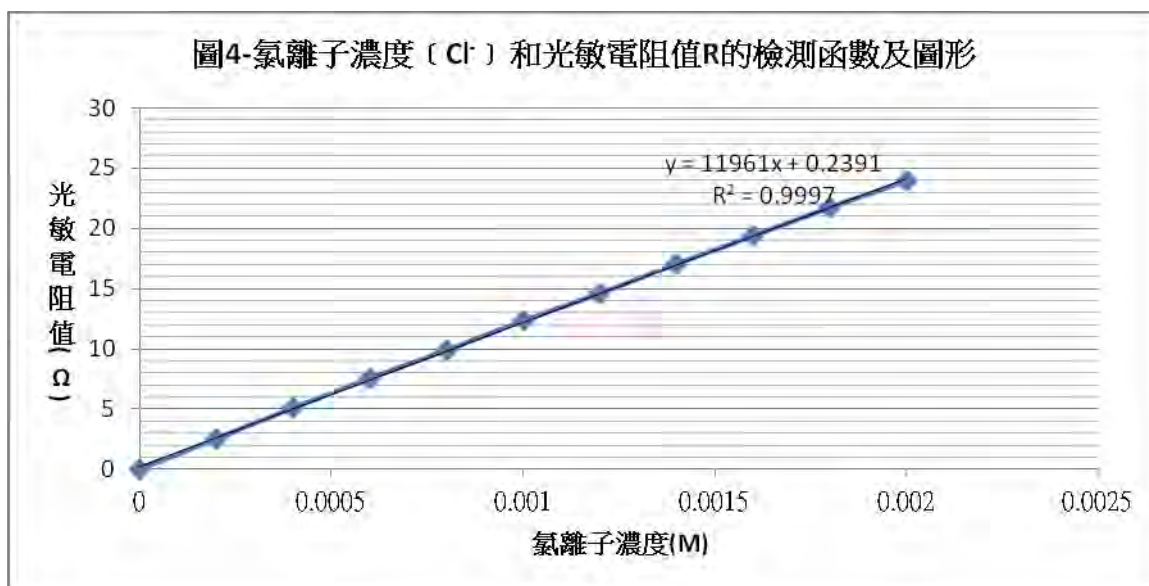
第二部份:光敏電阻於日常生活應用,利用光敏電阻在沉澱反應中電阻變化的特性:檢測不同煮沸時間自來水中剩餘氯離子的濃度、各種不同類型水中氯離子的濃度、各種不同類型砂石氯離子的濃度。

【研究結果】

一、實驗四: 製作氯離子濃度〔Cl⁻〕和光敏電阻值 R 的檢測函數和函數圖形。

表 4-氯離子濃度〔Cl⁻〕和光敏電阻值 R 的描述性統計表

〔KCl〕 (M)	光 敏 電 阻 值 (Ω)						標準差	變異係數
	R1	R2	R3	R4	R5	R 平均		
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0002	2.4	2.6	2.8	2.6	2.2	2.52	0.2280	0.0905
0.0004	5.1	5.1	5.3	5	5.2	5.14	0.1140	0.0222
0.0006	7.7	7.3	7.5	7.5	7.6	7.52	0.1483	0.0197
0.0008	9.9	9.8	9.6	9.9	10.5	9.94	0.3362	0.0338
0.001	12.3	12.2	12.4	12.2	12.8	12.38	0.2490	0.0201
0.0012	14.5	14.4	14.5	14.7	14.8	14.58	0.1643	0.0113
0.0014	17.1	16.9	17	16.7	17.3	17	0.2236	0.0132
0.0016	19.5	19.3	19.4	19.5	19.4	19.42	0.0837	0.0043
0.0018	21.6	21.9	21.7	21.8	21.6	21.72	0.1304	0.0060
0.002	24	24	23.9	24.2	23.8	23.98	0.1483	0.0062



【討論】

1. 利用不同濃度氯化鉀(KCl)對相同濃度硝酸銀(AgNO₃)產生沉澱物而使光敏電阻最大電阻值產生變化，得到圖 4-氯離子濃度 [Cl⁻] 和光敏電阻值 R 的檢測函數和函數圖形。
2. 利用此檢測函數和函數圖形，配合光敏電阻儀器，可作為實驗五～七檢測不同煮沸時間自來水中剩餘氯離子的濃度、各種不同類型水中氯離子的濃度、各種不同類型砂石氯離子的濃度。

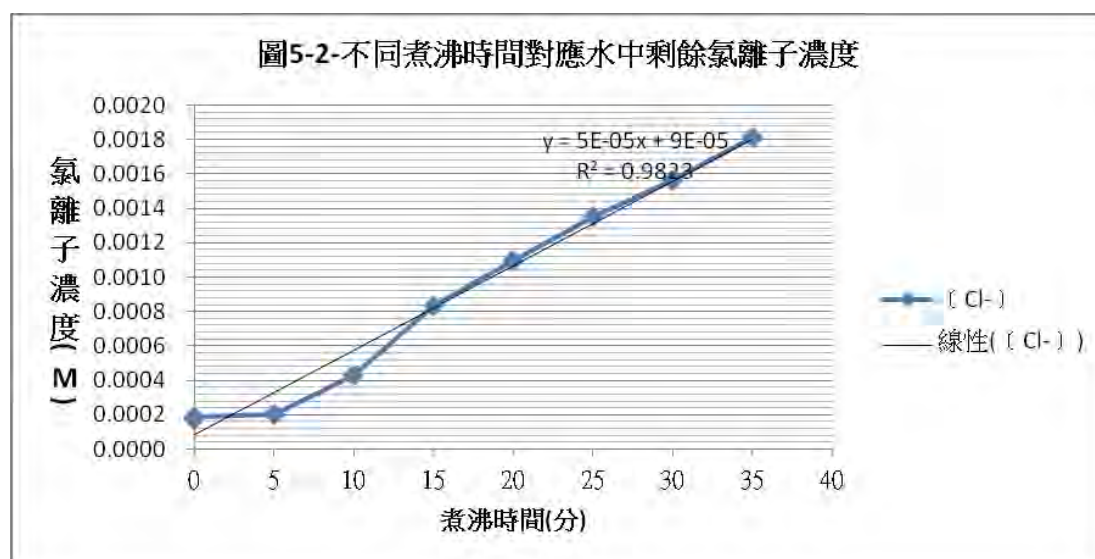
【研究結果】

二、實驗五: 檢測不同煮沸時間自來水中剩餘氯離子的濃度。

表 5-不同煮沸時間對應水中剩餘氯離子濃度的描述性統計表

煮沸時間(分)	光 敏 電 阻 值 (Ω)						對應濃度(M) [Cl ⁻]	標準差 SD	變異係數 CV
	R1	R2	R3	R4	R5	R 平均			
0	2.35	2.42	2.4	2.38	2.36	2.38	0.0002	3.4848	1.4630
0	2.54	2.6	2.55	2.48	2.58	2.55	0.0002	3.7309	1.4631
5	2.7	2.75	2.87	2.79	2.81	2.78	0.0002	4.1276	1.4826
10	5.6	5.4	5.2	5.8	5.2	5.44	0.0004	8.1275	1.4940
15	10.2	10.4	10.6	9.9	10	10.22	0.0008	14.4273	1.4117
20	13.2	13.6	13	13.8	13.1	13.34	0.0011	18.9100	1.4175
25	16.5	16.4	16.2	16.8	16	16.38	0.0013	23.3021	1.4226
30	18.9	19	19.2	19.1	18.5	18.94	0.0016	27.1647	1.4343
35	22	21.8	21.6	22.4	21.5	21.86	0.0018	31.4327	1.4379

圖 5-1-不同煮沸時間對應水中剩餘氯離子濃度



【討論】

1. 由實驗四檢測函數和函數圖形，可以找出不同煮沸時間自來水中剩餘氯離子的濃度。
2. 由實驗結果發現煮沸時間越長，水中所含剩餘氯離子濃度越高。自來水加氯: $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^- + \text{HClO}$ 推測可能是其中 HClO 在加熱過程中釋放出氯離子所致: $\text{HClO} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^- + \text{O}_2$ 所以使 Cl^- 濃度增加。
3. 由實驗五所得不同煮沸時間對應氯離子函數和函數圖形，可推論出未知煮沸時間的水中剩餘氯離子的濃度。

【研究結果】

三、實驗六: 檢測各種不同類型水源中氯離子的濃度。

表 6-各種水源中氯離子濃度的描述性統計表

水源的類型	光 敏 電 阻 值 (Ω)						對應濃度(M) 〔Cl ⁻ 〕	標準差 SD	變異係數 CV
	R1	R2	R3	R4	R5	R 平均			
海水	6100	6120	6200	6150	6180	6150.00	0.5176	41.2311	0.0067
逆滲透水	0.89	0.8	0.75	0.96	0.85	0.85	0.0000	0.0809	0.0952
飲水機水	1	1.1	1.16	1.08	1	1.07	0.0001	0.0687	0.0643
濾水器水	1.5	1.52	1.49	1.58	1.6	1.54	0.0001	0.0492	0.0320
海洋深層水(舒跑)	4.3	4	4.4	4.6	4.2	4.30	0.0003	0.2236	0.0520
海洋深層水(台鹽)	6	6.2	6.4	5.8	6.1	6.10	0.0005	0.2236	0.0367
海洋深層水(光泉)	52	56	53	54.5	55	54.10	0.0045	1.5969	0.0295
海洋深層水(光隆生化)	62	62.8	61	61.5	63	62.06	0.0052	0.8473	0.0137
海洋深層水(形動)	102	105	103	102	100	102.40	0.0086	1.8166	0.0177

圖 6-1-各種水源氯離子濃度(M)

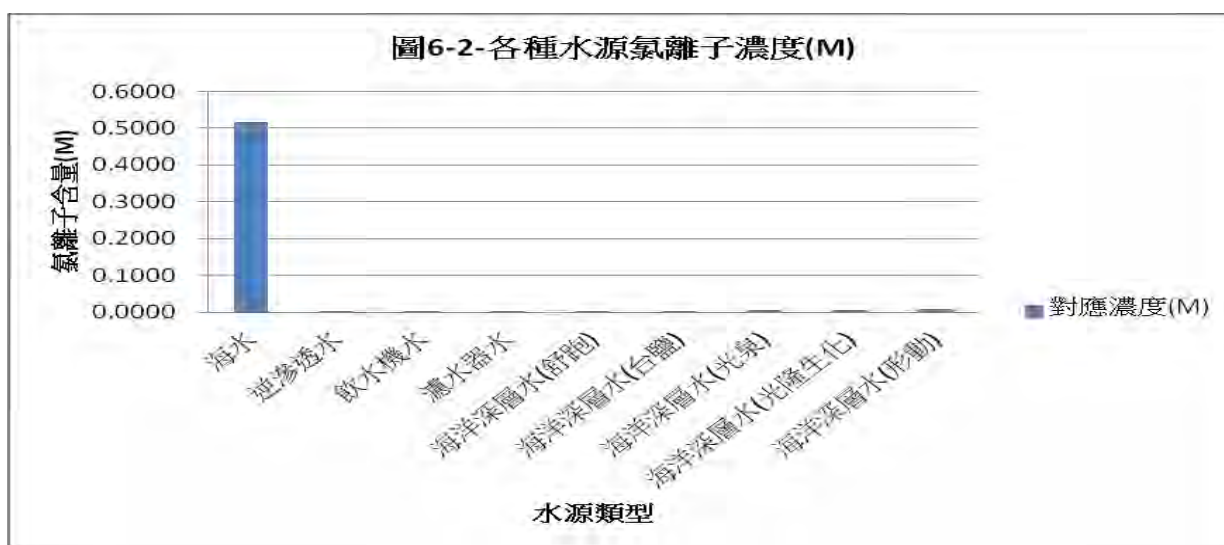
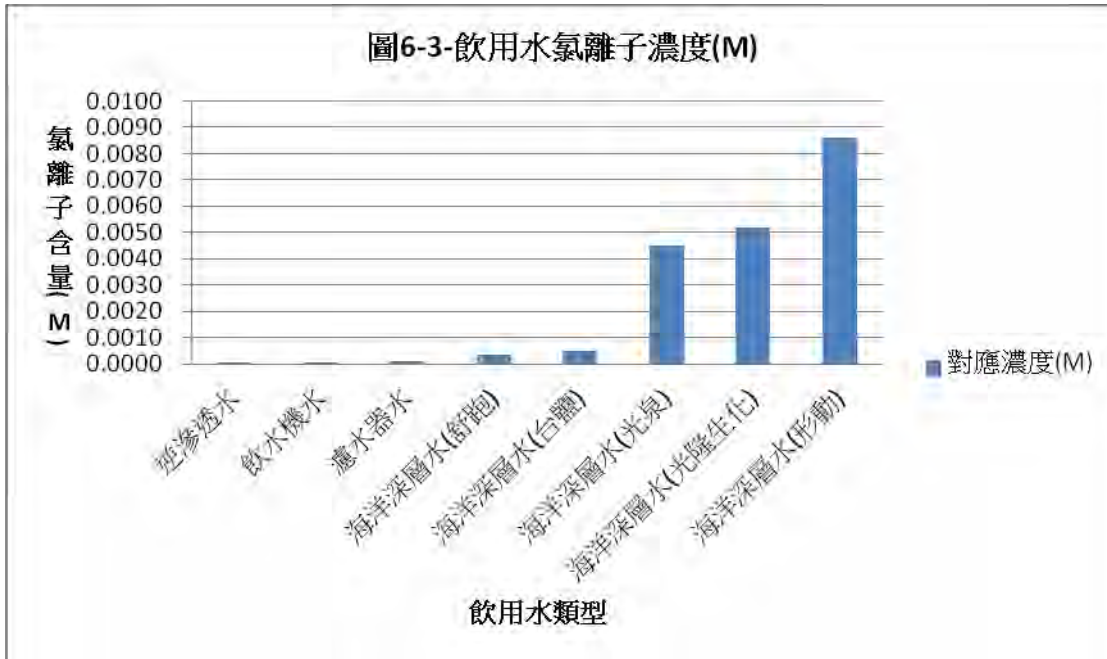


圖 6-2-飲用水氯離子濃度(M)



【討論】

- 1.由實驗四檢測函數和函數圖形，可以找出不同類型水源中氯離子的濃度。
- 2.由實驗結果發現海水所含氯離子濃度最高；濾水器水、逆滲透水、飲水機水因過濾的關係，使得水中氯離子濃度大幅降低；各種不同廠牌的海洋深層水所含氯離子濃度亦有很大的不同。其中光泉和台鹽兩種品牌的海洋深層水氯離子的濃度相較其他廠牌低了許多，讓我們對此兩種牌子深層水的來源或產生方式有很多疑問。

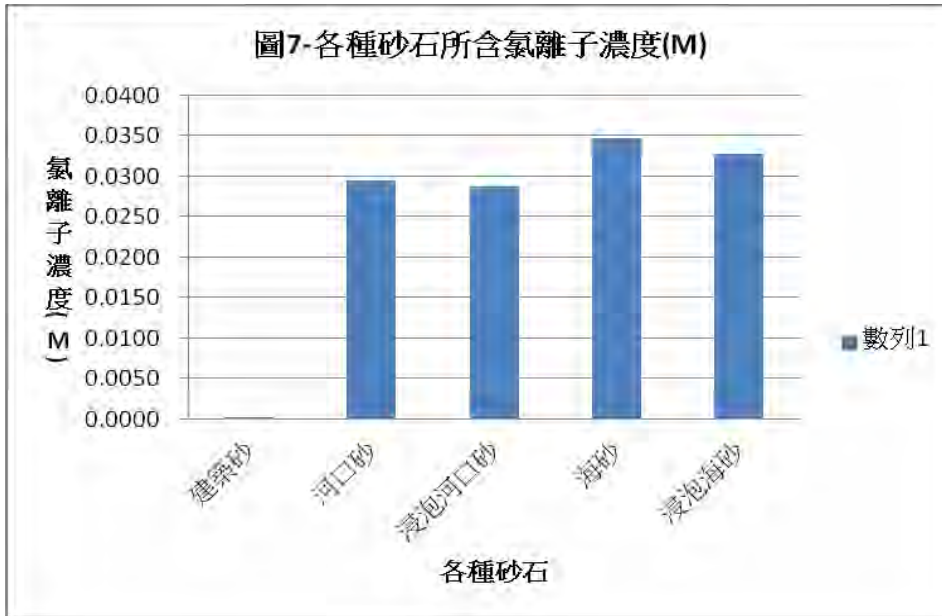
【研究結果】

四、實驗七: 各種不同類型砂石氯離子的濃度。

表 7-各種砂石所含氯離子濃度的描述性統計表

砂石類型	光 敏 電 阻 值 (Ω)						對應濃度(M) 〔 Cl ⁻ 〕	標準差 SD	變異係數 CV
	R1	R2	R3	R4	R5	R 平均			
建築砂	2.2	2.4	2.3	2.2	2.18	2.26	0.0002	0.0932	0.0413
河口砂	350	352	348	355	345	350.00	0.0294	3.8079	0.0109
浸泡河口砂	339	335	342	348	340	340.80	0.0287	4.7645	0.0140
海砂	410	415	412	410	412	411.80	0.0346	2.0494	0.0050
浸泡海砂	389	385	395	390	388	389.40	0.0327	3.6469	0.0094

圖 7-各種砂石所含氯離子濃度(M)



【討論】

- 1.由實驗四檢測函數和函數圖形，可以找出各種不同類型砂石氯離子的濃度。
- 2.由實驗結果發現海砂所含氯離子濃度最高，浸泡海砂、河口砂、浸泡河口砂等亦含很高的氯離子濃度，皆不適合做為建築之用，否則有海砂建築的危害。
- 3.由實驗結果發現建築砂所含氯離子濃度極低，約接近普通自來水的餘氯離子濃度，適合建築使用。
- 4.不論海砂或河口砂浸泡並不能其中所含氯離子濃度有明顯降低，推論僅靠短時間的浸泡法並不能使海砂或河口砂去除太高氯離子濃度而轉變成可供建築使用的砂石。

柒、結論

一、本實驗儀器除光敏電阻(成本新台幣 20 元)需額外購買，其餘皆為實驗室容易取得的器材，具有成本低廉、取得容易、操作攜帶方便等優點，適應用於沉澱反應的反應時間的量測或未知濃度的推測。

二、實驗一～實驗三可得知：在相同溫度下，「肉眼觀測」反應速率的離散程度皆大於「光敏電阻」反應速率的離散程度，當溫度越高，雖然兩組的反應速率觀測值離散情況越明顯，但「光敏電阻」的離散幅度明顯小於「肉眼觀測」的離散幅度。尤其在反應時間極短的沉澱反應中，「肉眼觀測」數據無法避免因人為操作使實驗數據誤差過大而失去可分析價值；「光敏電阻」觀測因測得時間為完全反應所需時間，其時間較長，可減少人為操作而造成誤差。

三、實驗四利用不同濃度氯化鉀(KCl)對相同濃度硝酸銀(AgNO₃)產生沉澱物而使光敏電阻的最大電阻值變化關係，得到上圖〔Cl⁻〕和光敏電阻值 R 的檢測函數和函數圖形，用來推測未知濃度溶液的氯離子濃度。

四、實驗五結果發現煮沸時間越長，所含剩餘氯離子濃度越高。

自來水加氯: $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^- + \text{HClO}$ 推測可能是其中 HClO 在加熱過程中釋放出氯離子所致 ($\text{HClO} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^- + \text{O}_2$)，所以使 Cl⁻濃度增加。

五、實驗六結果發現海水所含氯離子濃度最高；濾水器水、逆滲透水、飲水機水因過濾的關係，使得水中氯離子濃度大幅降低；各種不同廠牌的海洋深層水所含氯離子濃度亦有很大的不同。其中光泉和台鹽兩種品牌的海洋深層水氯離子的濃度相較其他廠牌低了許多，讓我們對此兩種牌子深層水的來源或產生方式有很多疑問。

六、實驗七結果發現海砂所含氯離子濃度最高，浸泡海砂、河口砂、浸泡河口砂等亦含很高的氯離子濃度，皆不適合做為建築之用，僅靠短時間的浸泡法並不能使海砂或河口砂去除太高氯離子濃度而轉變成可供建築使用的砂石。

捌、未來研究方向

一、將光敏電阻接在 Arduino 開發版上，因沉澱所造成不同光源亮度在 Arduino 開發版所得到的數據和所得光敏電阻值間是否有更密切的關係。

二、實驗六取樣水變數多，需要再精簡控制變因再進一步討論。

三、實驗七海砂除氯的方法比較：海砂浸泡時間長短（浸泡期間換水或不換水）、海砂浸泡水量的多寡、流動之水沖洗海砂時間的長短等方式對海砂除氯的效果之探討。

玖、參考資料及其他

光敏電阻

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%85%89%E6%95%8F%E7%94%B5%E9%98%BB>

煙霧偵測器

<https://zh.wikipedia.org/wiki/User:Patrickov/Sandbox/%E7%85%99%E9%9C%A7%E6%8E%A2%E6%B8%AC%E5%99%A8>

海砂屋

<https://www.house123.com.tw/safety/detection-cl>

自來水

<http://www.watertec.com/epa/a-q.htm#faq12>

翰林版第四、五冊教科書

【評語】 030215

利用光敏電阻在沉澱反應中沉澱物遮蔽光量而使電阻值提高的特性，設計簡單、成本低、較精確、操作方便等優點儀器，取代課程中以肉眼觀測的方式探討溫度對反應速率的影響。唯須考慮實驗手法對氯離子之專一性，同時需考慮沉降物密度造成之誤差。以下幾點建議提供參考：

1. 所量測之各種分析物的氯離子的濃度是否可以與標準的分析方法利用統計的方法互相比較(t test 與 F test)，得知所開發之方法與標準的方法是否有一致性。
2. 可導入更多的沉澱反應驗證此方法的廣泛性。

● 科 別：化學科

● 組 別：國中組

● 作品名稱：您喝的水多「氯」了嗎？

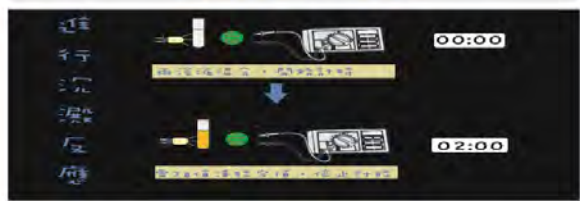
● 關鍵詞：光敏電阻、沉澱反應、氯離子檢測



壹、研究動機、實驗設備及儀器：八年級時，我們以肉眼觀測(如圖一) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 和 HCl 沉澱的反應速率，容易產生人為誤差。九年級時，學習光敏電阻相關知識後，想設計一個簡單、方便的光敏電阻儀器(如圖二)來取代肉眼觀測。



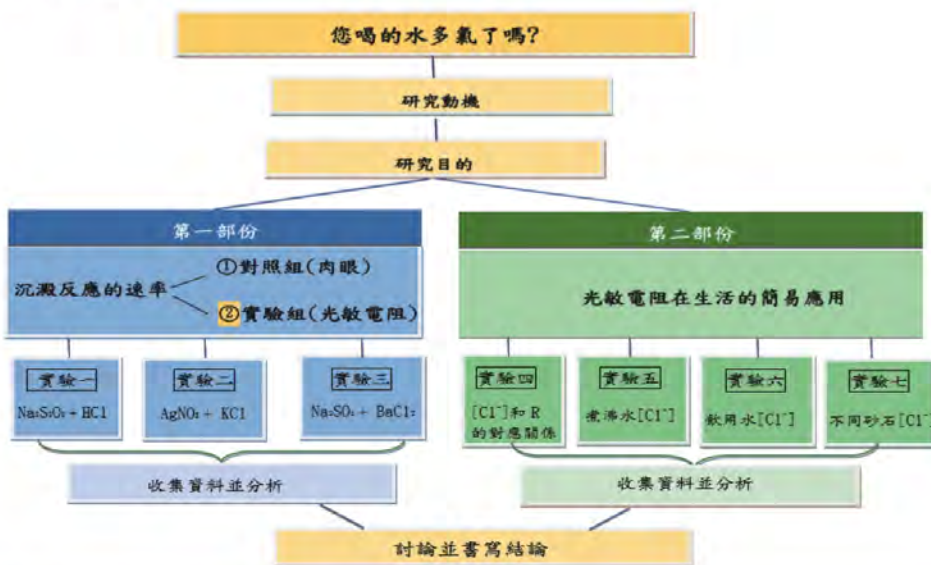
1



2

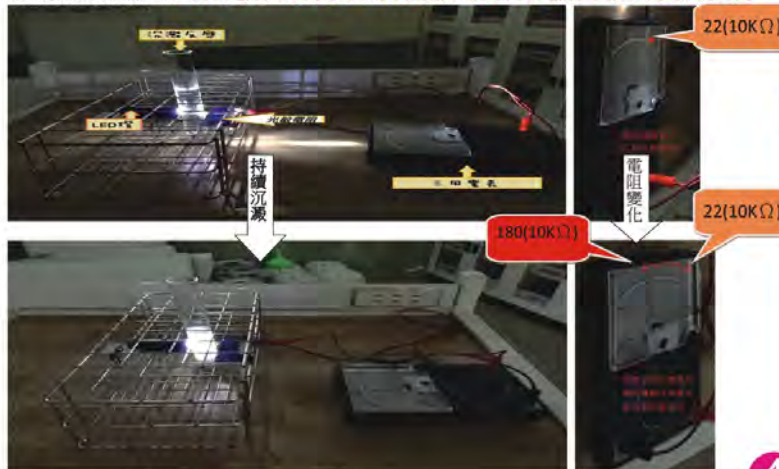
貳、摘要、研究目的與架構：我們設計了兩部分實驗(如圖三)，第一部分利用肉眼(對照組)和光敏電阻(實驗組)觀測三個不同沉澱(實驗一二三)的反應速率，第二部分利用光敏電阻儀器在實驗四找出電阻值 R 和 $[\text{Cl}^-]$ 關係後，在實驗五六七檢測生活中常見 $[\text{Cl}^-]$

圖三：研究架構圖



3

參、實驗過程及方法：利用 LED 燈的光源通過混合溶液試管，讓另一側連接三用電表的光敏電阻接收，隨沉澱物阻隔光源，光敏電阻值由小變大直到不再變化，紀錄光敏電阻值變化區間的反應時間。

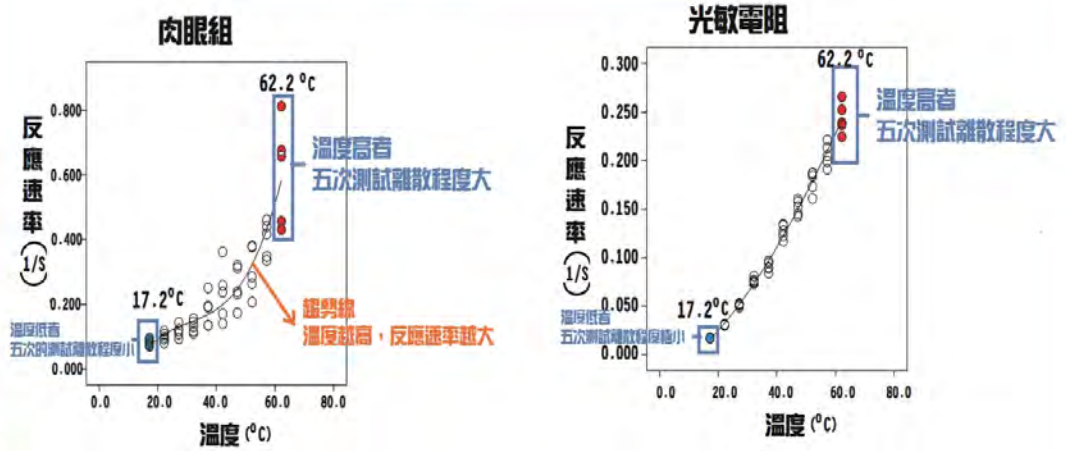


4

肆、研究結果與討論:詳細實驗數據與說明請見作品說明書

實驗一: $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{S}_2\text{O}_4 + \text{SO}_2\uparrow + \text{NaCl}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}$, 分為實驗組與對照組, 每一個溫度測五次

實驗一. 肉眼組、光敏電阻反應速率散佈圖

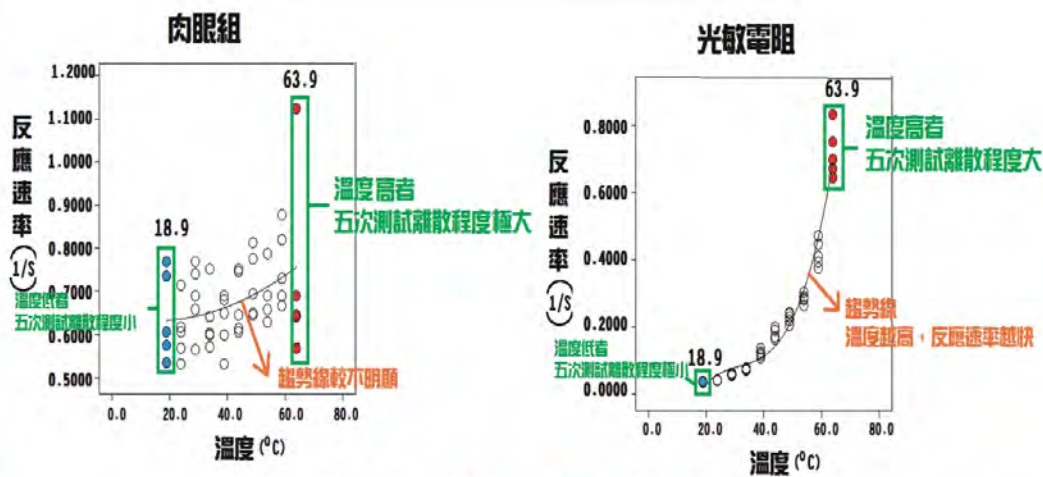


1. 離散: 每組皆有離散。但肉眼組 > 光敏電阻
2. 離散程度不同推論: 肉眼是個人主觀判定, 儀器是固定電阻區間量測

5

實驗二: $\text{KCl} + \text{AgNO}_3 \rightarrow \text{AgCl}\downarrow + \text{KNO}_3(\text{aq})$, 分為實驗組與對照組, 每一個溫度測五次

實驗二. 肉眼組、光敏電阻反應速率散佈圖

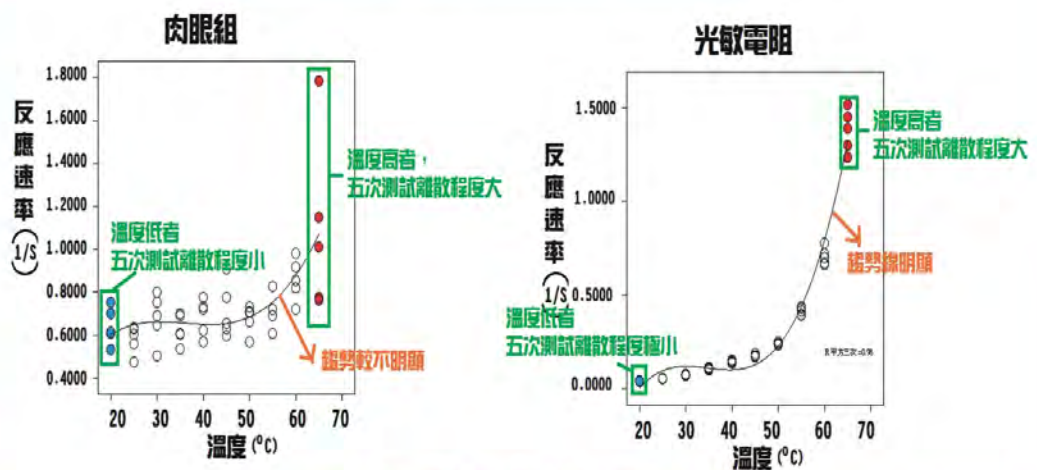


1. 離散: 每組皆有離散。但肉眼組 > 光敏電阻
2. 反應速率對溫度趨勢線: 光敏電阻 > 肉眼組。推論反應時間過短, 推論測得自人體的反應時間, 儀器仍有固定電阻變化區間的時間

6

實驗三: $\text{BaCl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{BaSO}_4\downarrow + \text{NaCl}(\text{aq})$, 分為實驗組與對照組, 每一個溫度測五次

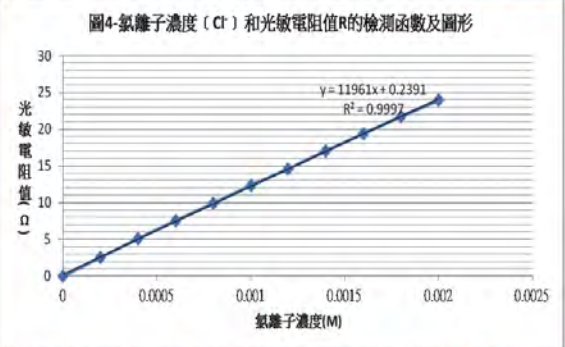
實驗三. 肉眼組、光敏電阻反應速率散佈圖



1. 離散: 每組皆有離散。但肉眼組 > 光敏電阻
2. 反應速率對溫度趨勢線: 光敏電阻 > 肉眼組。推論反應時間過短, 推論測得自人體的反應時間, 儀器仍有固定電阻變化區間的時間

7

實驗四：利用不同濃度 KCl 和相同濃度 AgNO₃ 的沉澱反應電阻值，找出 [Cl⁻] 和 R 對應關係及函數。



[Cl⁻] 濃度越高(沉澱物越多)，所測得 R 越大→ 以此推測實驗五六七 [Cl⁻] 濃度

8

實驗五：自來水在不同煮沸時間的 [Cl⁻]



9

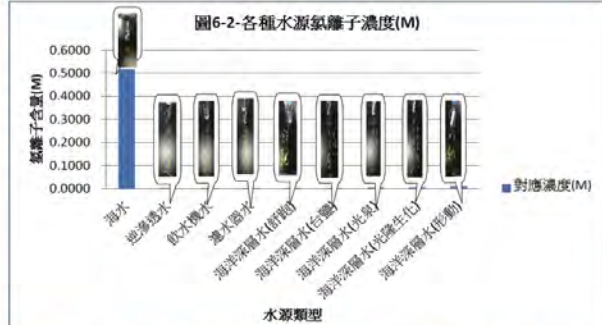
實驗六：各種飲用水的 [Cl⁻]

澄清透明→推測因水中 [Cl⁻] 被濾心過濾出來

五種典型海洋深層水沉澱狀況不同：
沉澱明顯(光泉、光離生化、形動)→ [Cl⁻] 較多
沉澱不明顯(舒適、台灣)→ [Cl⁻] 較少
肉眼無法辨識 [Cl⁻] 濃度大小→
測得光敏電阻值 R 依實驗四檢測
函數去推斷 [Cl⁻]

沉澱明顯→推測因水中富含 [Cl⁻]

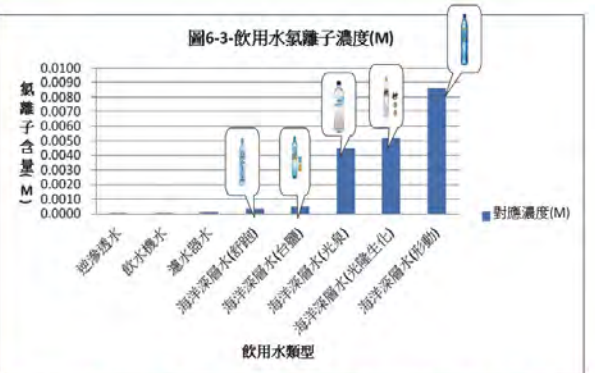
10



肉眼無法分辨海水和沉澱明顯海洋深層水(光泉、光離生化、形動)的 [Cl⁻] 濃度多寡，但測得光敏電阻值 R 去推斷 [Cl⁻]，可精確判斷肉眼無法分辨的部分。

11

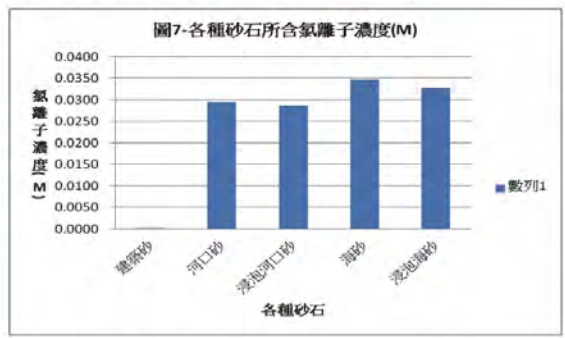
圖6-3-飲用水氯離子濃度 (M)



肉眼無法分辨過濾水(逆滲透、飲水機、濾水器)和沉澱不明顯海洋深層水(舒適、台灣)的 [Cl⁻] 濃度多寡，但測得光敏電阻值 R 去推斷 [Cl⁻]，可精確判斷肉眼無法分辨的部分。

12

實驗七：各種砂石所含的 [Cl⁻] 政府規範建築砂所含氯離子 < 0.35Kg/1M³



建築砂所含氯離子遠小於河口砂及海砂，且簡易浸泡法無法去除河口砂及海砂中大量的氯離子

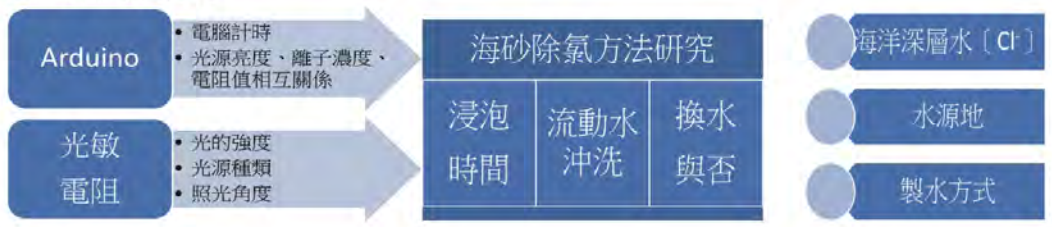
13

伍、結論



實驗五六七生活中簡易的沉澱實驗無法從肉眼區別，可透過實驗四 [Cl⁻] 和 R 對應關係及函數去推斷實際 [Cl⁻] 的濃度

陸、未來研究方向



14