

2022 年【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：超省能之廢水中重金屬回收法

一、摘要：

研究中發現在電解槽中置入碳片，可發生**自發電極**現象，可應用於金屬離子廢液的回收。研究發現無論硫酸銅還是硫酸鋅水溶液，金屬銅和金屬鋅的回收效率及析出克數、節能的情形、所需的時間都是5片碳片（含正負兩極）>2片（正負極）碳片。電解1000秒後的廢液都以5片碳片的電解槽的殘餘液最符合環保署放流水的排放標準。電解槽正負極中間放置碳片，有助於水溶液的金屬離子析出，平行擺放位置（5*3平方公分）正負極放置比垂直擺放位置（僅5*0.4平方公分）正負極放置有更明顯的析出量。本研究發現在析出相同質量金屬原子的耗能分析上，**五片電極碳片僅需要傳統兩片電極碳片的0.07%~7%，是相當節能的析出方式**，可減少電解法回收金屬離子溶液的耗能的缺點。

二、探究題目與動機

我們對於許多工廠排放重金屬廢液污染農田、河川的新聞十分在意，因為重金屬污水的污染已造成許多社會上的健康、經濟與生態問題，然而資源並不是取之不盡用之不竭的，且在現今的社會中還無法有效的回收利用這些重金屬資源，這已成為現今最重要的課題之一，我們思考：在現今資源缺乏的環境下，有效且不造成環境負擔的方法來回收這些金屬。並且使廢水的重金屬離子排放標準可以符合環保署的規定。

三、探究目的與假設

我們提出以下問題與研究方向：

- 一、探究在水溶液環境通入直流電後，中間位置有無擺放碳片與金屬析出狀況是否有差異？如有差異，這些差異為何？
- 二、探究電解過程中電解時間的長短是否影響金屬的回收量，以嘗試找出最省電能的方式。
- 三、探究電解過程中電解時間的長短是否影響金屬的回收量，以嘗試找出最佳的通電時間
- 四、探究本實驗對於重金屬汙水的處理，是否能有效達到環保署的放流水排放標準。

四、探究方法與驗證步驟

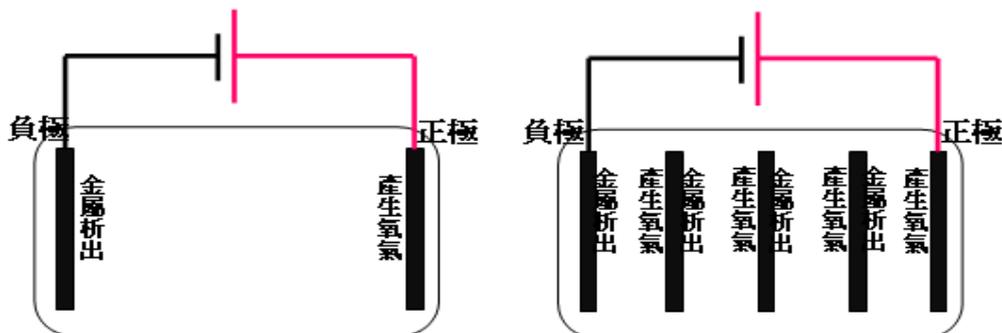
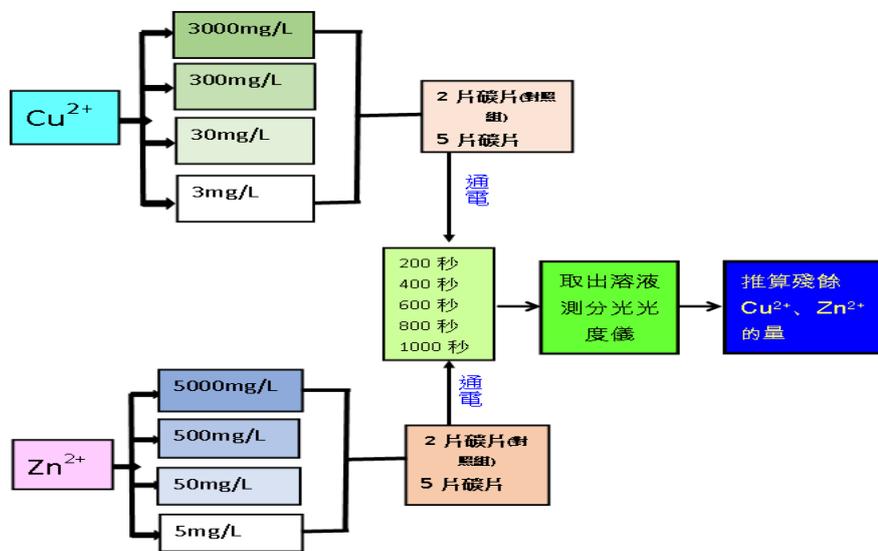
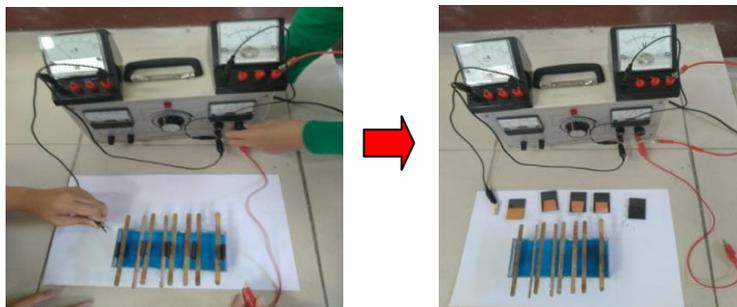
一、金屬離子水溶液配製

- （一）硫酸銅水溶液配製：我們以環保署放流水標準，銅3mg/L作為主要依據，分別配製3000mg/L、300mg/L、30mg/L、3mg/L、0.3mg/L的硫酸銅溶液。
- （二）以3000mg/L為例，秤取5.898g的硫酸銅，也就是將5.898g的硫酸銅加入小燒杯中，並加水用玻棒攪拌到完全溶解後，將小燒杯中的硫酸銅水溶倒入500mL容積瓶中，加水到畫線處（500mL）即可。
- （三）接著配製300mg/L時，只要取50mL的3000mg/L硫酸銅溶液置入容積瓶並加水至500mL即可，而30mg/L、3mg/L、0.3mg/L一樣如法炮製。
- （四）環保署的放流水標準，鋅以5mg/L作為主要依據，分別以上述步驟配製5000mg/L、

500mg/L、50mg/L、5mg/L、0.5mg/L。

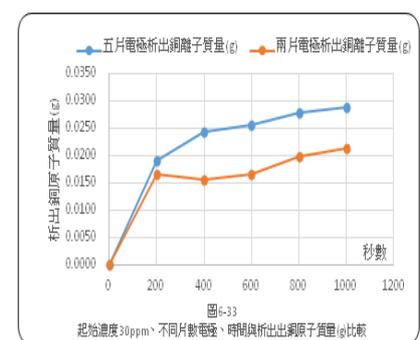
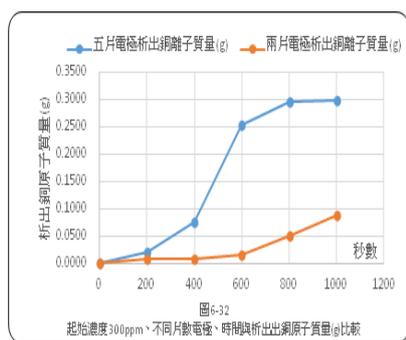
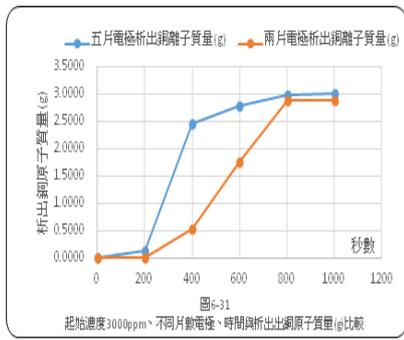
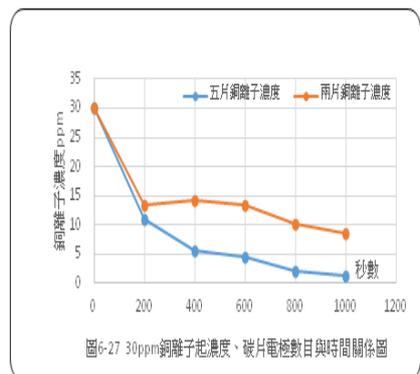
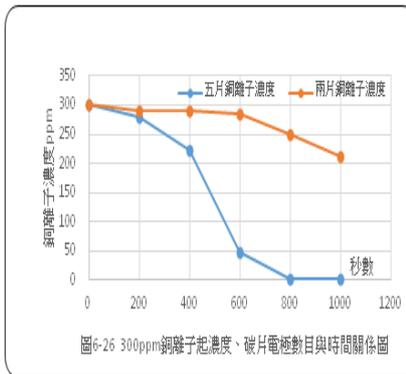
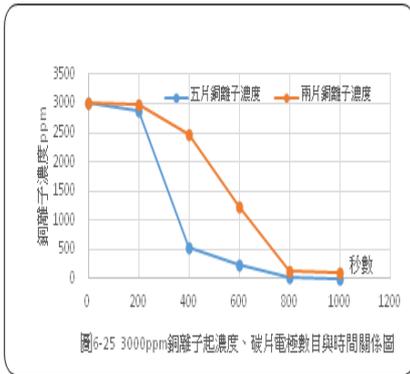
二、水溶液通電環境的設置

- (一) 選用長方形透明容器。
- (二) 倒入硫酸銅(鋅)水溶液，加到容器高度的三分之二。
- (三) 黏上冰棒棍(固定碳片)。
- (四) 兩支冰棒棍中擺置碳片兩端碳片分別接上直流電源供應器的正極與負極，調整電壓為 20V。
- (五) 安培計(A)與整個電路串連相接、伏特計和電路並聯。
- (六) 打開直流電源供應器調整電壓為 20V，通電時間計時為 200s、400s、600s、800s、1000s，觀測安培計與相關電極的變化，並記錄安培計讀數。
- (七) 實驗結束後，取出溶液，將溶液倒入筆測管並放入分光光度儀，測量水溶液的金屬離子殘餘量。



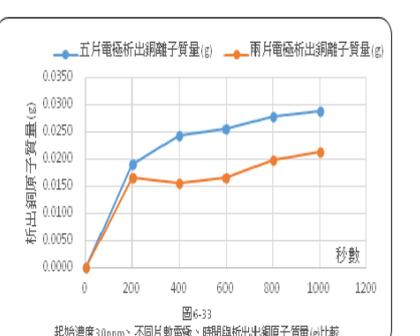
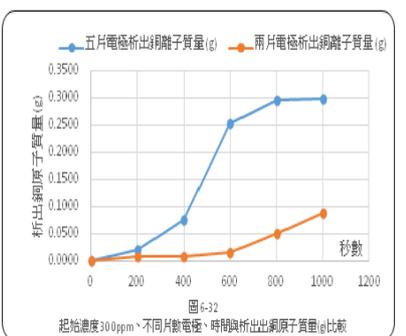
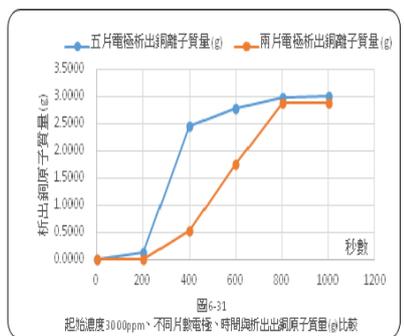
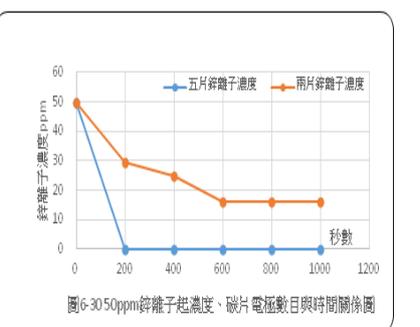
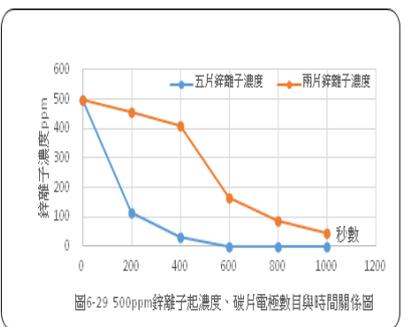
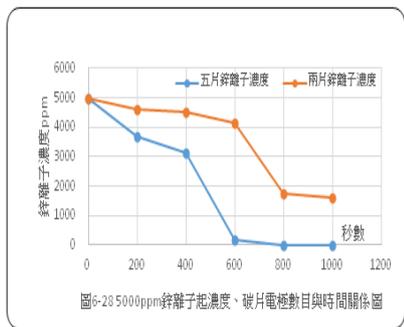
五、結論與生活應用

一、不同銅離子濃度的兩片電極和五片電極之濃度變化/銅原子析出量變化



在 3000ppm~30ppm 的銅離子濃度下，五片電極降解廢水中銅離子濃度的速率較快，且五片電極析出的銅原子量較兩片電極多。

二、不同鋅離子濃度的兩片電極和五片電極之濃度變化/鋅原子析出量變化

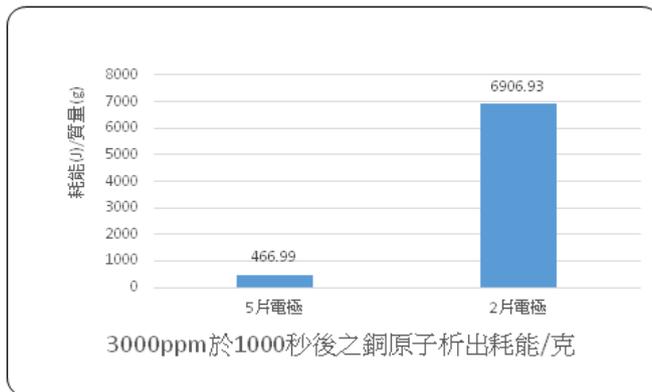


在 3000ppm~30ppm 的鋅離子濃度下，五片電極降解廢水中鋅離子濃度的速率較快，且五片電極析出的鋅原子量較兩片電極多。

三、 五片電極和兩片電極之析出相同重量銅原子/鋅原子之耗能比較(以 3000ppm 為例)

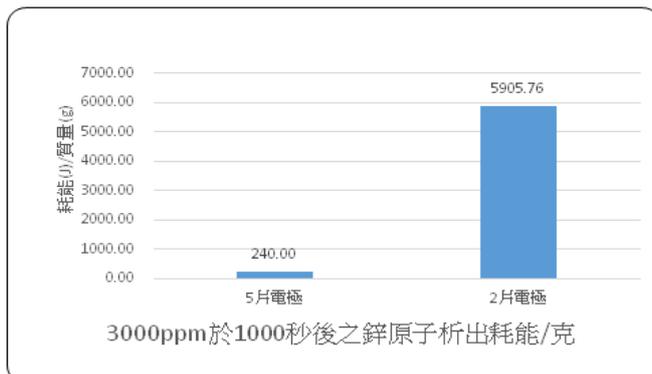
3000 ppm 銅離子濃度不同電極析出 1 克銅原子之耗能比較表

秒數	吸光度 值五片	五片電 極析出 銅原子 質量(g)	電流 I(mA)	電壓(V)	電功率 (P)=VI	消耗能量 (J)=Pt=VI ² t	析出每 克銅原 子所耗 能量(J)
1000	0.0005	2.9980	70.0	20.0	1.40	1400.00	466.99
秒數	吸光度 值兩片	兩片電 極析出 銅原子 質量(g)	電流 I(mA)	電壓(V)	電功率 (P)=VI	消耗能量 (J)=Pt=VI ² t	析出每 克銅原 子所耗 能量(J)
1000	0.0255	2.8956	1000.00	20.0	20.00	20000.00	6906.93



3000 ppm 銅離子濃度不同電極析出 1 克銅原子之耗能比較表

秒數	吸光度 值五片	五片電 極析出 鋅原子 質量(g)	電流 I(mA)	電壓(V)	電功率 (P)=VI	消耗能量 (J)=Pt=VI ² t	析出每 克鋅原 子所耗 能量(J)
1000	0.0008	5.0000	60.0	20.0	1.20	1200.00	240.00
秒數	吸光度 值兩片	兩片電 極析出 鋅原子 質量(g)	電流 I(mA)	電壓(V)	電功率 (P)=VI	消耗能量 (J)=Pt=VI ² t	析出每 克鋅原 子所耗 能量(J)
1000	0.0415	3.3865	1000.00	20.0	20.00	20000.00	5905.76



以 3000ppm 銅離子濃度為例進行分析，發現五片電極析出每公克銅原子的耗能約 467 焦耳，兩片電極析出每公克銅原子的耗能約 6907 焦耳，相較之下，五片電極之析出耗能僅需傳統兩片電極的約 7% 左右，相當節能。若相同 3000ppm 鋅離子濃度下，發現五片電極析出每公克鋅原子之耗能約為 240 焦耳，兩片電極析出每公克鋅原子之耗能約為 5906 焦耳，相較之下，五片電極之析出耗能僅需兩片電極 4% 左右，是非常節能的方式。

四、 五片電極和兩片電極之析出相同重量銅/鋅原子之耗能比較

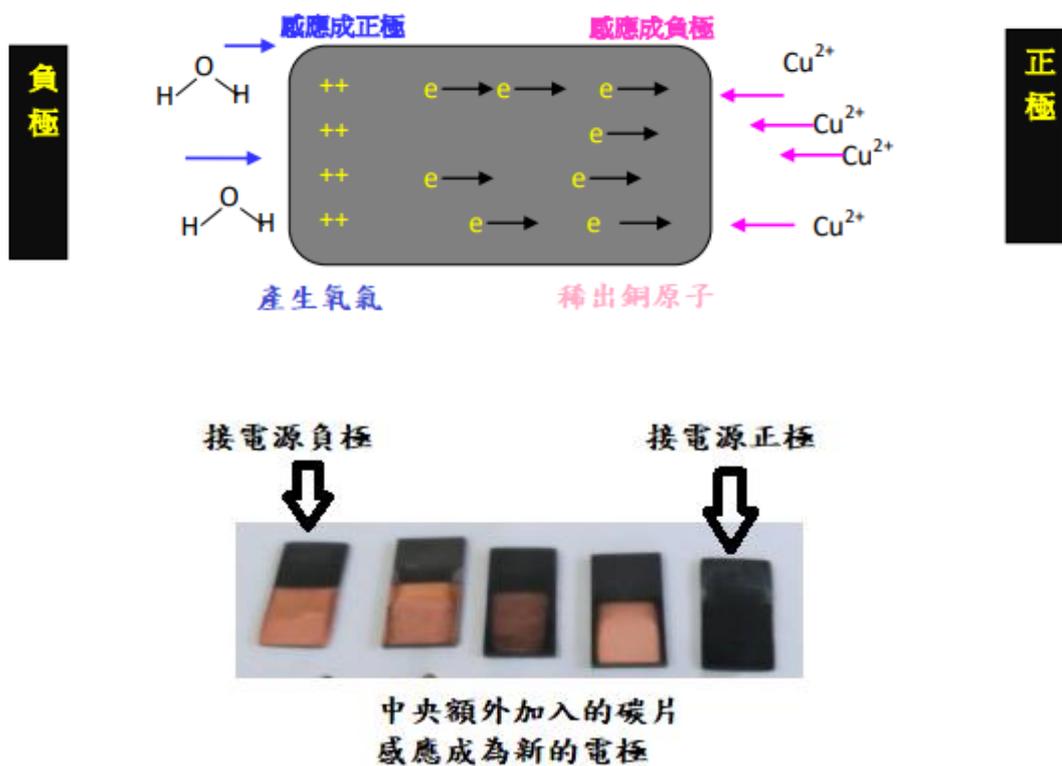
5 片碳片/2 片碳片的電解下，析出每克金屬原子的耗能百分比

銅 3000ppm	銅 300ppm	銅 30ppm
6.76%	1.16%	2.60%
鋅 5000ppm	鋅 500ppm	鋅 50ppm
4.06%	1.00%	0.07%

由上表整理可知，不論廢水中重金屬濃度的高低，只要電解槽的中間放置碳片，就有利於回收重金屬，使水體的金屬離子降低，且五片電極相對於兩片電極的耗能約 7%-0.07% 之間，相對耗能減少許多。

五、 在電解槽中央加入額外碳片，這些碳片會產生額外的吸出電極產生原因推論

若是我們把電解質水溶液定義為導體的一種，中央碳片參差在其中可視為不同材質的導體互相串連。水溶液中正負離子流動導致碳片內的自由電子分布不均勻，靠近正極那端蓄積許多電子，使水溶液的正離子獲得電子析出金屬，靠近負極那端缺電子，吸引水分子靠近而分解產生 O₂。其可能原因如下圖所示：



六、 五片碳片電極的所節省的時間是否皆優於兩片碳片電極？

在兩片碳片的電解下，不論是高濃度的還是低濃度的離子，經過 1000 秒的通電後，水溶液的金屬離子濃度都沒辦法達到環保署的放流水的排放標準。

而五片碳片的裝置，很明顯地，不論是 Cu^{2+} 或是 Zn^{2+} 五片碳片清除力都優於二片，有趣的是 Cu^{2+} ，300ppm 和 30ppm 在 800 秒時就能將其降到環保署放流水標準，3000ppm 只需要 1000 秒就可達標。30ppm 只需到 1000 秒才能符合飲用水源水質標準。相較 Zn^{2+} 5000ppm，只需 800s 就測不到了。500ppm 只需要 600 秒。50ppm 的只需要 200 秒分光光度儀就測不到了， Zn^{2+} 的效率實在令我們驚奇，引起我們未來將繼續探討的動力。

以上討論整理如下表所示：

碳片通電後的殘餘離子濃度

兩片碳片	3000ppm 通電 1000s 後吸光度值	殘餘離子濃度(ppm)	300ppm 通電 1000s 後吸光度值	殘餘離子濃度(ppm)	30ppm 通電 1000s 後吸光度值	殘餘離子濃度(ppm)
銅離子 1000s	0.0255	104	0.0521	213	0.0021	9
兩片碳片	5000ppm 通電 1000s 後吸光度值	殘餘離子濃度(ppm)	500ppm 通電 1000s 後吸光度值	殘餘離子濃度(ppm)	50ppm 通電 1000s 後吸光度值	殘餘離子濃度(ppm)
鋅離子 1000s	0.0415	1613	0.0062	47	0.0055	16

五片碳片通電後的殘餘離子濃度

五片碳片	3000ppm 通電吸光度值	殘餘離子濃度(ppm)	300ppm 通電吸光度值	殘餘離子濃度(ppm)	30ppm 通電吸光度值	殘餘離子濃度(ppm)
銅離子 800 秒	0.0041	17	0.0007	3	0.0005	2
銅離子 1000 秒	0.0005	2	0.0004	2	0.0003	1
五片碳片	5000ppm 通電吸光度值	殘餘離子濃度(ppm)	500ppm 通電吸光度值	殘餘離子濃度(ppm)	50ppm 通電吸光度值	殘餘離子濃度(ppm)
鋅離子 200 秒	0.0887	3708	0.0077	114	0.0050	0
鋅離子 600 秒	0.0089	167	0.0019	0	0.0010	0
鋅離子 800 秒	0.0012	0	0.0008	0	0.0001	0
鋅離子 1000 秒	0.0008	0	0.0001	0	0.0001	0

七、 研究結論

本團隊研究所發現在傳統電解槽中加入碳片作為電極的方法具有 1. 高回收率、2. 高回收量、3. 相對耗能極低等三大特色，可作為未來重金屬廢水回收的方法參考。

八、 未來發展

我們發現，重金屬離子的確是可以在低濃度下被中間碳片和負極碳片析出。雖然低濃度下所耗費的電能較多，但是加了中間碳片之後的析出效果比只有負極碳片的效果多很多。而且過去文獻關於電解沉積法，他們所使用的電極必須經過挑選，不同的廢液用不同的電極。甚至於用昂貴的情性電極，而我們只需要用價格便宜的碳片就可以了。電解任何廢液幾乎都可以使用。碳片數的多寡可能受限於電解槽大小，但片數多的確可以增加金屬析出率，中間碳片擺放的片數可依照電解槽的大小作增減，找出最佳效率，碳片的面積大小也可以自行調整，面積越大析出的金屬應該更多。

為了追求更有效且更便宜的器材，我們曾使用石墨紙和備長炭做電極代替中間碳片，石墨紙泡水久了會爛爛的，備長炭很便宜也可以使用，但是備長炭細微的孔隙較多，效率比較差、耗電更多。

參考資料

1. 廢水金屬處理回收簡介，侯萬善
http://ebooks.lib.ntu.edu.tw/1_file/moeaidb/012553/a03b042.pdf
2. 環保署放流水標準 <https://www.moeaidb.gov.tw/iphw/tucheng/park/file20.pdf>
3. 飲用水水源水質標準 <https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=00040018>
4. 國中自然與生活科技第 6 冊，第一章第 5 節，電流的化學效應，翰林版。
5. 電化學，http://ocw.aca.ntu.edu.tw/ocw_files/099S125/ch11.pdf。
6. 陳正偉等，擁有生命的金屬樹，武陵高中，中華民國第 33 屆高中化學科展優勝。
7. 李佳錚等，中華民國第 51 屆科展化學科入選。