

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高中組 化學科

040211

綠電池的化學推論

學校名稱：臺北市立麗山高級中學

作者： 高二 田家瑋 高二 曾令佳	指導老師： 張堯卿 方湘儀
-------------------------	---------------------

關鍵詞：綠電池、化學反應、電解質

摘要

葉綠素為自然界中常見於光合作用生物體內之物質，在能源領域內也有不少的應用。本研究探討葉綠素作為普通化學電池之電解質、染料敏化太陽能電池之染料與新型葉綠素電池中自發物質時之化學反應，另外也探討葉綠素之濃度對於發電效能的影響。當葉綠素作為電解質之實驗中，將使用鋅銅電池組為對照組，改變陰極溶液及鹽橋為實驗組，分析數據圖並推測其運作原理。自發物質之實驗運用一裝置由兩片玻璃與兩片矽膠片組裝而成的電池，改變電解液與光照有無來探討葉綠素在該電池中是否有明顯的氧化還原作用，並推出化學反應式。染料方面使用二氧化鈦製作染料敏化太陽能電池，加入葉綠素作為染料。結果顯示葉綠素可自身氧化還原，而且葉綠素本身是弱電解質。

壹、研究動機

近期有許多關於新能源的文獻陸續發表，其中有許多是利用葉綠素來進行發電的研究，看了許多這類文獻後發現葉綠素在這些研究中所扮演的角色不盡相同，有些研究把葉綠素當成色素製作染料敏化太陽能電池、有些是將葉綠素當成氧化劑或電解質製作成電池，所以本研究將探討葉綠素扮演這些不同角色時，產生的化學反應有什麼差別。

貳、研究目的

- 一、探討葉綠素作為電解質時的化學反應。
- 二、比較天然葉綠素與人工葉綠素對染料敏化電池的化學反應。
- 三、製作使用葉綠素自身氧化還原的電池，並推出反應式。
- 四、利用比爾定律訂定不同的葉綠素濃度，並探討濃度對發電效率之影響。

參、研究設備及器材

- 一、碘化鉀
- 二、碘
- 三、葉綠素銅
- 四、硫酸銅
- 五、硫酸鋅
- 六、食鹽
- 七、U型管
- 八、燒杯
- 九、量筒
- 十、滴管
- 十一、丙酮
- 十二、矽膠
- 十三、超音波震盪儀
- 十四、鹵素燈
- 十五、二氧化鈦
- 十六、醋酸
- 十七、導電玻璃
- 十八、蠟燭
- 十九、烘箱
- 二十、鍛燒爐
- 二十一、研鉢
- 二十二、蝴蝶夾
- 二十三、針筒
- 二十四、容量瓶
- 二十五、保鮮膜
- 二十六、錐形瓶
- 二十七、蠟燭
- 二十八、鑷子
- 二十九、棉花
- 三十、電子秤
- 三十一、三用電表
- 三十二、分光光度計



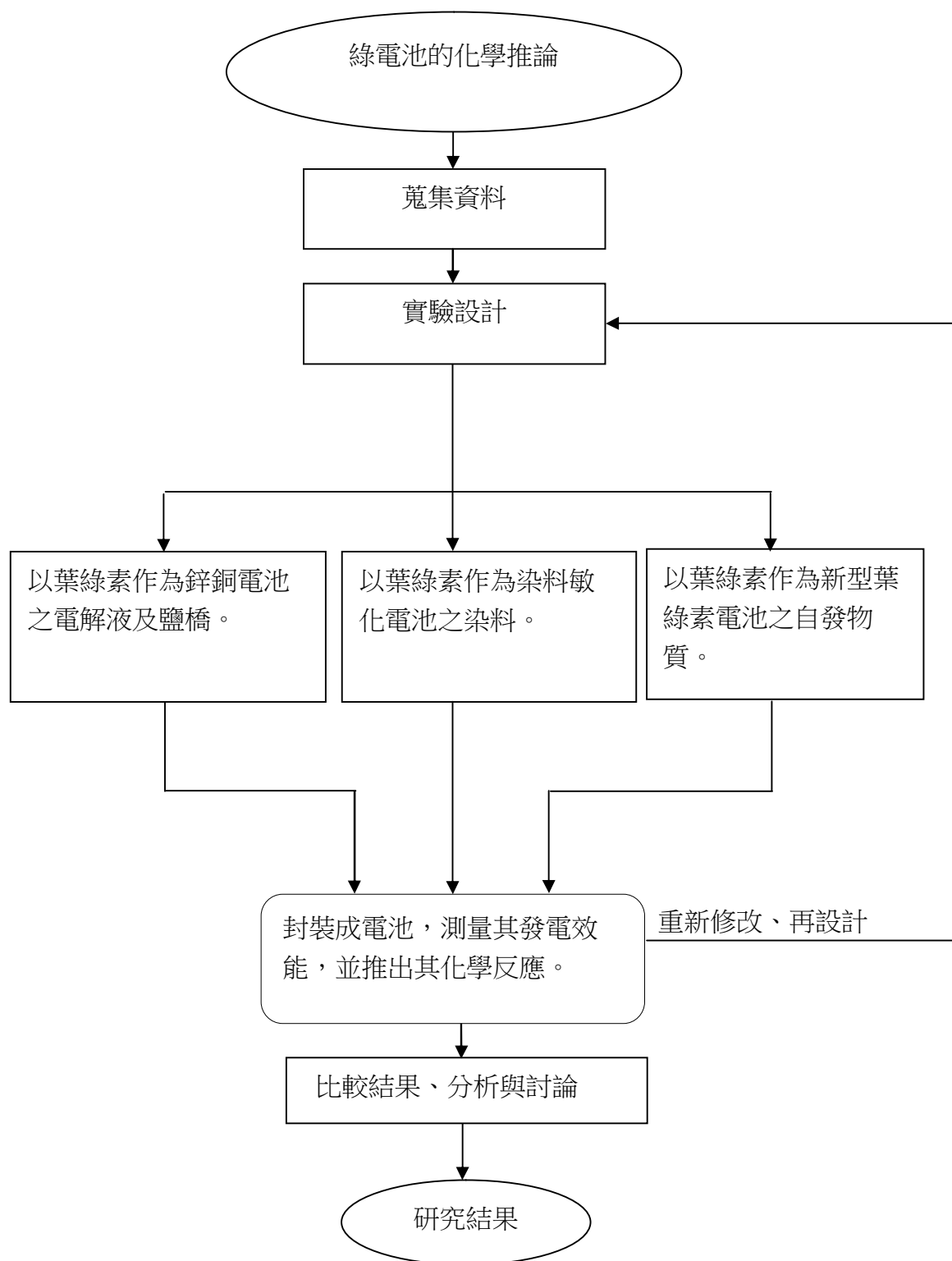
葉綠素銅



天然葉綠素

肆、研究過程或方法

一、研究方法

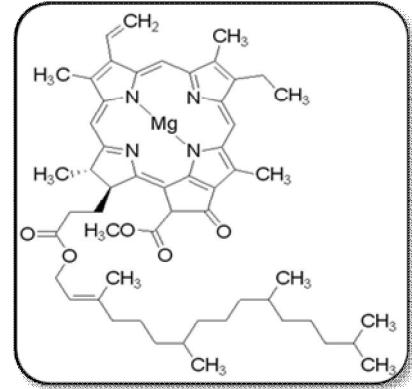


二、 葉綠素介紹

(一)天然葉綠素的種類:在自然界中天然的葉綠素有許多種，如下。

»葉綠素 a »葉綠素 b »葉綠素 c1 »葉綠素 c2 »葉綠素 d »葉綠素 f

1. 自然界中最為常見之葉綠素為葉綠素 a，其普遍存在於各種植物中，本實驗中天然葉綠素也主要運用葉綠素 a 來進行實驗。

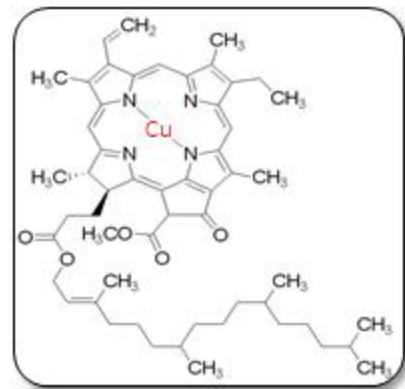


葉綠素 a:

分子式: $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$

(二)人工葉綠素

1. 人工葉綠素多對於其中心離子進行改變，常見的有銅與鋅等。本實驗也利用人工葉綠素銅進行實驗。



人工葉綠素銅:

分子式: $C_{55}H_{72}O_5N_4Cu$

三、前置實驗

(一)、實驗設計→天然葉綠素的萃取:

1. 用清水清洗菠菜葉子。
2. 使用樣品粉碎研磨機將葉子搗碎成小碎片。
3. 取 20g 碎葉片與 200ml 80% 丙酮混和。
4. 放入超音波震盪機震盪 30 分鐘。
5. 放置至丙酮蒸發完畢，再加入 200ml 蒸餾水。

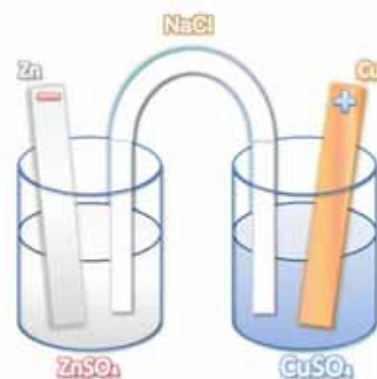
(二)、實驗設計→葉綠素銅的配置:

1. 配置 0.05M 的葉綠素銅溶液。

四、研究方法- 實驗目的一 — 改變電解液。

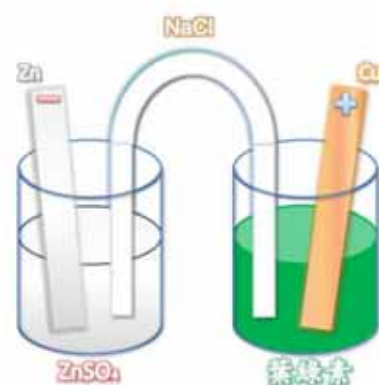
(一) 實驗步驟—陽極溶液: $ZnSO_4$ 陰極溶液: $CuSO_4$ 陽極: Zn 陰極: Cu 鹽橋: $NaCl$

1. 配置 0.1M 的 $ZnSO_4$ 為陽極溶液。
2. 配置 0.1M 的 $CuSO_4$ 為陰極溶液。
3. 配置 1M 的食鹽水為鹽橋。
4. 架設實驗裝置如圖一。
5. 測量電壓並記錄數據。



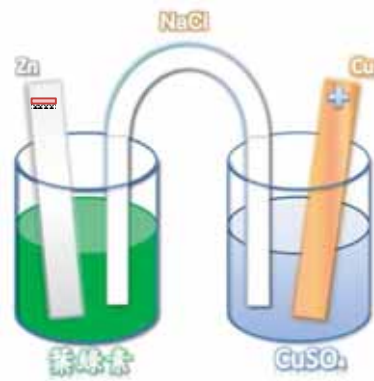
(二) 實驗步驟—陽極溶液: $ZnSO_4$ 陰極溶液: $Chl(Cu)$ 陽極: Zn 陰極: Cu 鹽橋: $NaCl$

1. 配置 0.1M 的 $ZnSO_4$ 為陽極溶液。
2. 配置 0.05M 的 $Chl(Cu)$ 為陰極溶液。
3. 配置 1M 的食鹽水為鹽橋。
4. 架設實驗裝置如圖一。
5. 測量電壓並記錄數據。



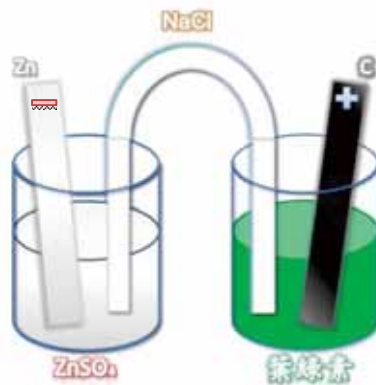
(三) 實驗步驟—陽極溶液:Chl(Cu) 陰極溶液:CuSO₄ 陽極:Zn 陰極:Cu 鹽橋:NaCl

- 1.配置 0.05M 的 Chl(Cu)為陽極溶液。
- 2.配置 0.1M 的 CuSO₄ 為陰極溶液。
- 3.配置 1M 的食鹽水為鹽橋。
- 4.架設實驗裝置如圖一。
- 5.測量電壓並記錄數據。



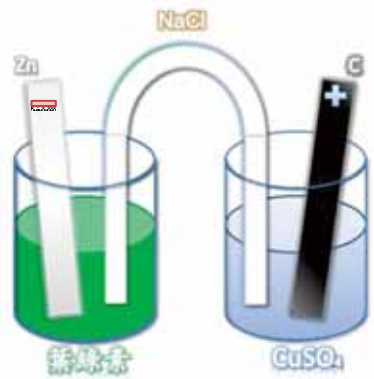
(四) 實驗步驟—陽極溶液:ZnSO₄ 陰極溶液:Chl(Cu) 陽極:Zn 陰極:C 鹽橋:NaCl

- 1.配置 0.1M 的 ZnSO₄ 為陽極溶液。
- 2.配置 0.05M 的 Chl(Cu)為陰極溶液。
- 3.配置 1M 的食鹽水為鹽橋。
- 4.架設實驗裝置如圖一。
- 5.測量電壓並記錄數據。



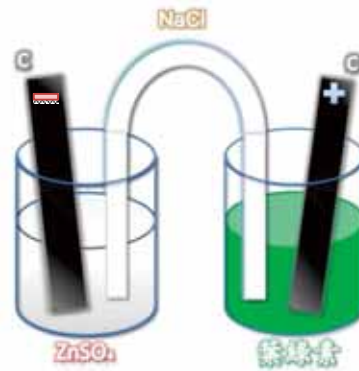
(五) 實驗步驟—陽極溶液:Chl(Cu) 陰極溶液:CuSO₄ 陽極:Zn 陰極:C 鹽橋:NaCl

- 1.配置 0.05M 的 Chl(Cu)為陽極溶液。
- 2.配置 0.1M 的 CuSO₄ 為陰極溶液。
- 3.配置 1M 的食鹽水為鹽橋。
- 4.架設實驗裝置如圖一。
- 5.測量電壓並記錄數據。



(六) 實驗步驟—陽極溶液: ZnSO_4 陰極溶液: $\text{Chl}(\text{Cu})$ 陽極: C 陰極: C 鹽橋: NaCl

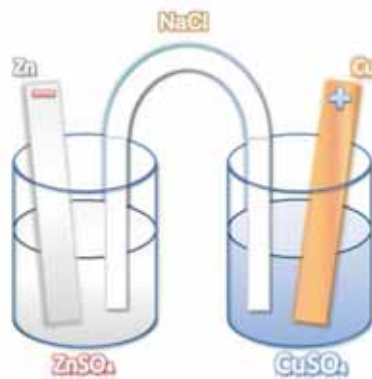
- 1.配置 0.1M 的 ZnSO_4 為陽極溶液。
- 2.配置 0.05M 的 $\text{Chl}(\text{Cu})$ 為陰極溶液。
- 3.配置 1M 的食鹽水為鹽橋。
- 4.架設實驗裝置如圖一。
- 5.測量電壓並記錄數據。



五、實驗二 (實驗目的一 — 改變鹽橋)

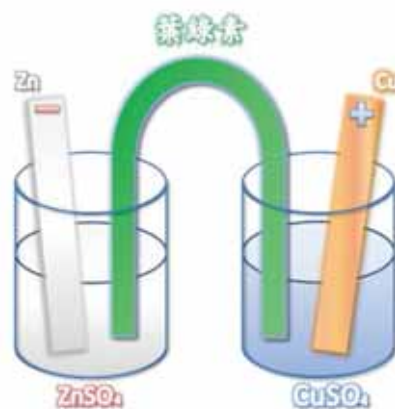
(一) 實驗步驟—陽極溶液: ZnSO_4 陰極溶液: CuSO_4 陽極: Zn 陰極: Cu 鹽橋: NaCl

- 1.配置 0.1M 的 ZnSO_4 為陽極溶液。
- 2.配置 0.1M 的 CuSO_4 為陰極溶液。
- 3.配置 1M 的食鹽水為鹽橋。
- 4.架設實驗裝置如圖一。
- 5.測量電壓並記錄數據。



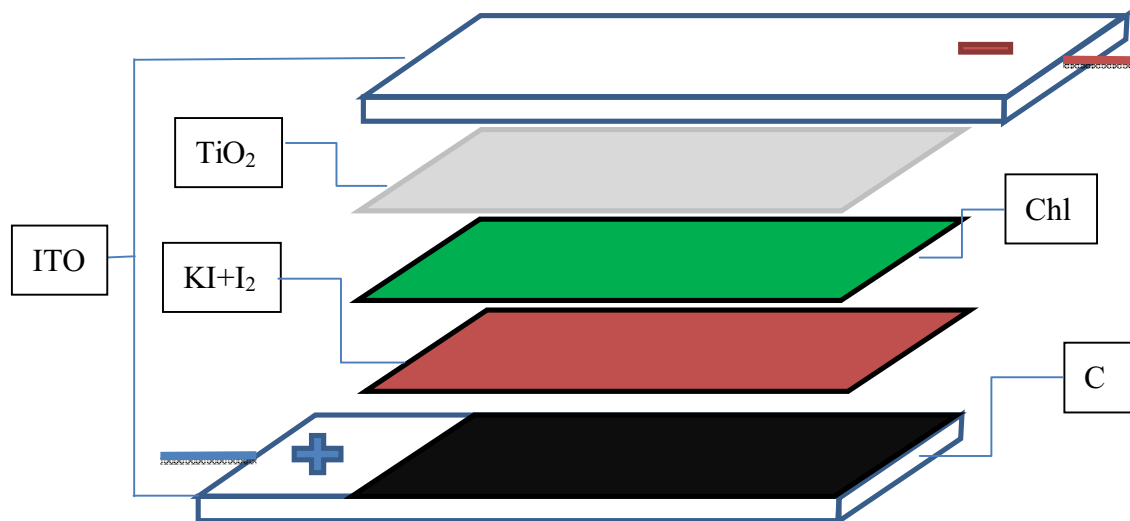
(二) 實驗步驟—陽極溶液: ZnSO_4 陰極溶液: CuSO_4 陽極: Zn 陰極: Cu 鹽橋: $\text{Chl}(\text{Cu})$

- 1.配置 0.1M 的 ZnSO_4 為陽極溶液。
- 2.配置 0.1M 的 CuSO_4 為陰極溶液。
- 3.配置 0.05M 的 $\text{Chl}(\text{Cu})$ 為鹽橋。
- 4.架設實驗裝置如圖一。
- 5.測量電壓並記錄數據。



六、實驗三 (實驗目的二)

(一) 實驗結構圖

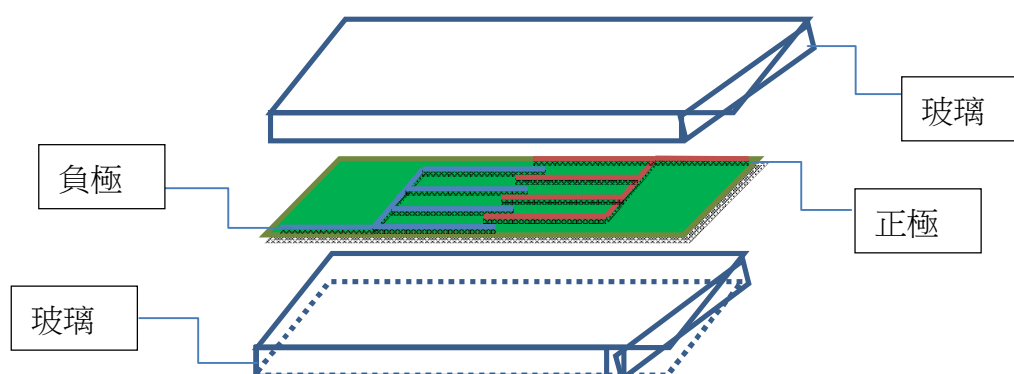


(二) 實驗步驟

1. 秤取 1g 的 TiO_2 粉末，至於研鉢中滴入數滴醋酸，研磨至成現膠狀為止。
2. 取一片 ITO，將表面用清水洗淨，用紙巾輕輕擦乾表面，使用三用電表確認導電面。
3. 將導電面朝上，在 ITO 對邊貼上膠帶，使用玻棒將膠狀 TiO_2 平均塗佈於 ITO 上，將膠帶撕下，此時 TiO_2 形成的區塊約一層膠帶厚。
4. 放進高溫鍛燒爐中以 450 度鍛燒 10 分鐘。
5. 段燒完畢後將 ITO 浸泡在色素中 15 分鐘後取出，以紙巾輕輕擦乾表面，此 ITO 為染料敏化電池之陽極。
6. 取另外一片 ITO，將表面用清水洗淨，用紙巾輕輕擦乾表面，使用三用電表確認導電面。
7. 用蠟燭燒導電面，使導電面燻上一層碳，此 ITO 為染料敏化電池之陰極。
8. 取陰極與陽極 ITO，使之導電面相對並固定成三明治結構。
9. 直接量測其電壓值。

七、實驗四 (實驗目的三)

(一) 實驗結構圖



(二) 實驗步驟

1. 取兩片 9cm*9cm 之矽膠片並用美工刀在正中央切出 5cm*5cm 的正方形。
2. 將正極與負極分別夾於兩片矽膠片的兩端，再用兩片玻璃夾住固定形成三明治結構，此時矽膠片會製造出大約 6cm³ 的空間。
3. 配置 0.5M 的碘化鉀與 0.05M 的碘，均勻混合形成電解液。
4. 以針筒注入 1.5ml 的電解液。
5. 以針筒注入 4.5ml 的葉綠素銅或天然葉綠素溶液。

八、實驗五 (實驗目的四)

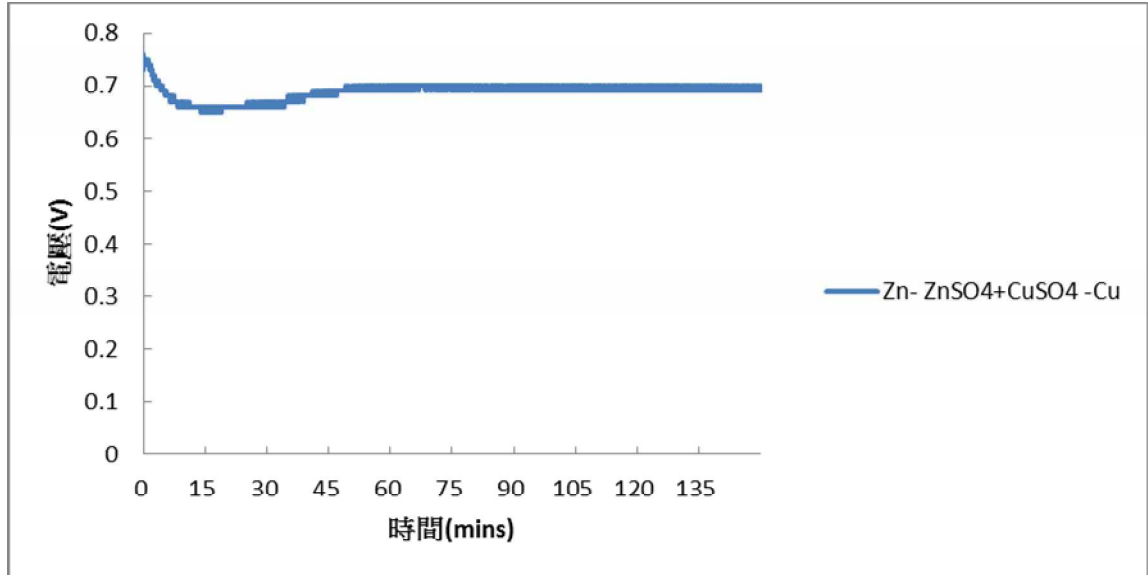
(一) 實驗步驟

1. 分別配置三種不同莫爾濃度之人工葉綠素溶液。
2. 將五種不同濃度之人工葉綠素溶液用分光光度計檢測其吸光率，並畫出等量線。
3. 任意萃取三種不同莫爾濃度之天然葉綠素溶液。
4. 將三種不同濃度之天然葉綠素溶液用分光光度計檢測其吸光率，並將得到的數據與步驟二所得到的等量線進行比對，代出天然葉綠素溶液的濃度值。
5. 以針筒注入 4.5ml 的天然葉綠素溶液以及 1.5ml 的電解液，進行測試。
6. 觀察數據，討論合理解釋。

伍、研究結果

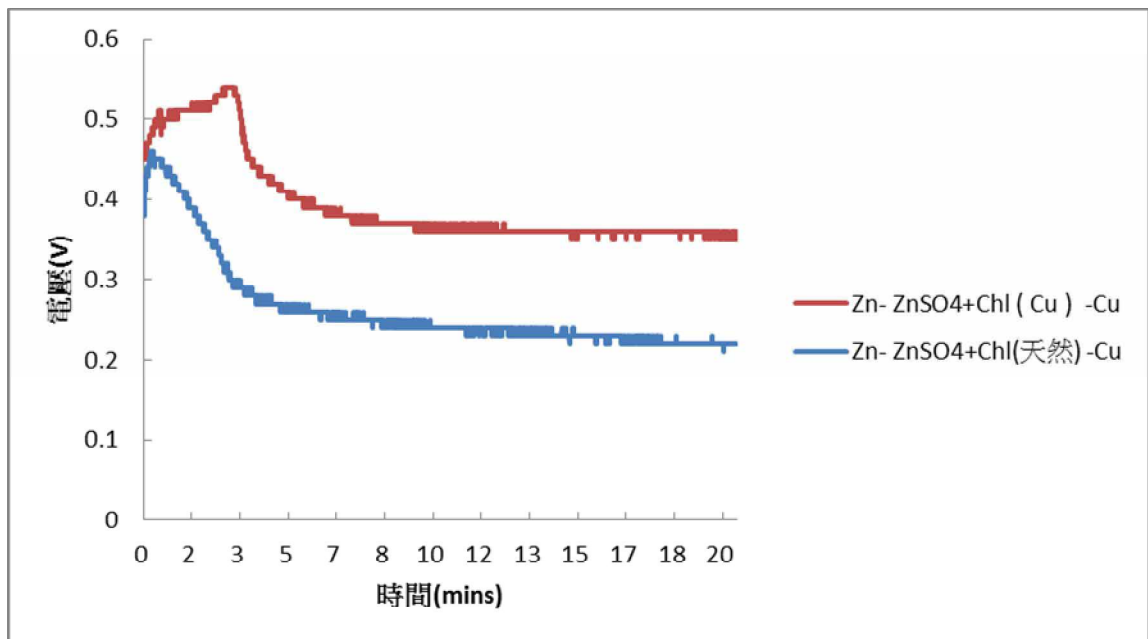
一、 實驗一 (實驗目的一 — 改變電解液)

(一) 實驗步驟—陽極溶液:ZnSO₄ 陰極溶液:CuSO₄ 陽極:Zn 陰極:Cu 鹽橋:NaCl



陽極反應: $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ 陰極反應: $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$ 總反應: $\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Cu} + \text{Zn}^{2+}$

(二) 實驗步驟—陽極溶液:ZnSO₄ 陰極溶液:Chl 陽極:Zn 陰極:Cu 鹽橋:NaCl

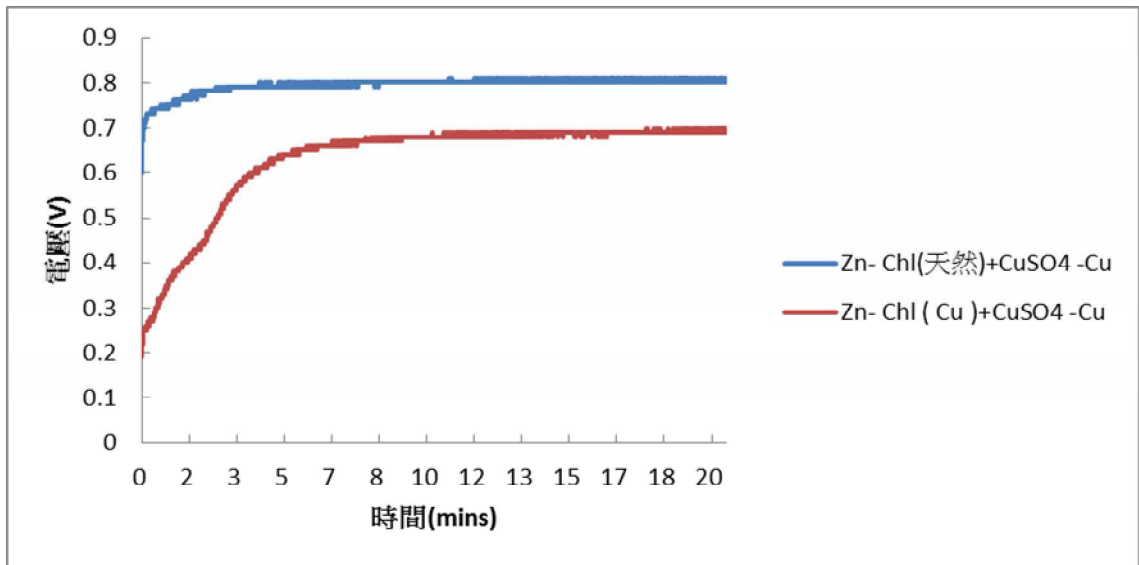


■ 陽極反應: $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ 陰極反應: $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$ 總反應: $\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Cu} + \text{Zn}^{2+}$

■ 陽極反應: $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ 陰極反應: $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ 總反應: $\text{Zn} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2 + \text{Zn}^{2+}$

實驗討論:使用人工葉綠素時電子經由外電路傳至陰極與陰極溶液中 Cu^{2+} 結合，電壓隨著 Cu^{2+} 濃度減低而下降。使用天然葉綠素時，葉綠素分解水成 H^+ 及 OH^- ，推測電子傳至陰極與溶液中 H^+ 結合，而中心離子 Mg 與 OH^- 結合，使溶液 pH 值上升。反應前後 pH 值變化: $8.9 \rightarrow 9.1$ 。

(三) 實驗步驟—陽極溶液:Chl 陰極溶液: CuSO_4 陽極:Zn 陰極:Cu 鹽橋:NaCl

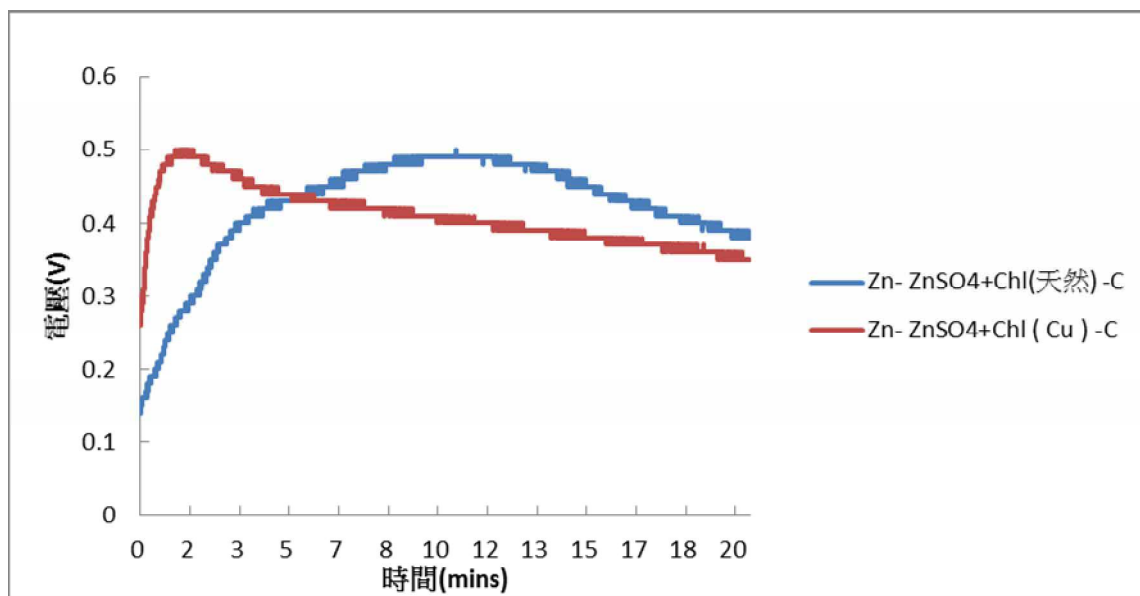


■陽極反應: $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ 陰極反應: $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$ 總反應: $\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Cu} + \text{Zn}^{2+}$

■陽極反應: $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ 陰極反應: $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$ 總反應: $\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Cu} + \text{Zn}^{2+}$

實驗討論: 運用葉綠素銅時，陽極溶液中有 Chl^+ 與 Cu^{2+} ， Cu^{2+} 先捕捉 Zn 放出的電子， Cu^{2+} 耗盡後電子才經過鹽橋傳到陰極溶液，此時電壓升至 0.7V，形成類似鋅銅電的反應。使用天然葉綠素時，因 Mg^{2+} 相對穩定，電子透過鹽橋傳到陰極溶液與 Cu^{2+} 反應，類似鋅銅電池。

(四) 實驗步驟—陽極溶液:ZnSO₄ 陰極溶液:Chl 陽極:Zn 陰極:C 鹽橋:NaCl

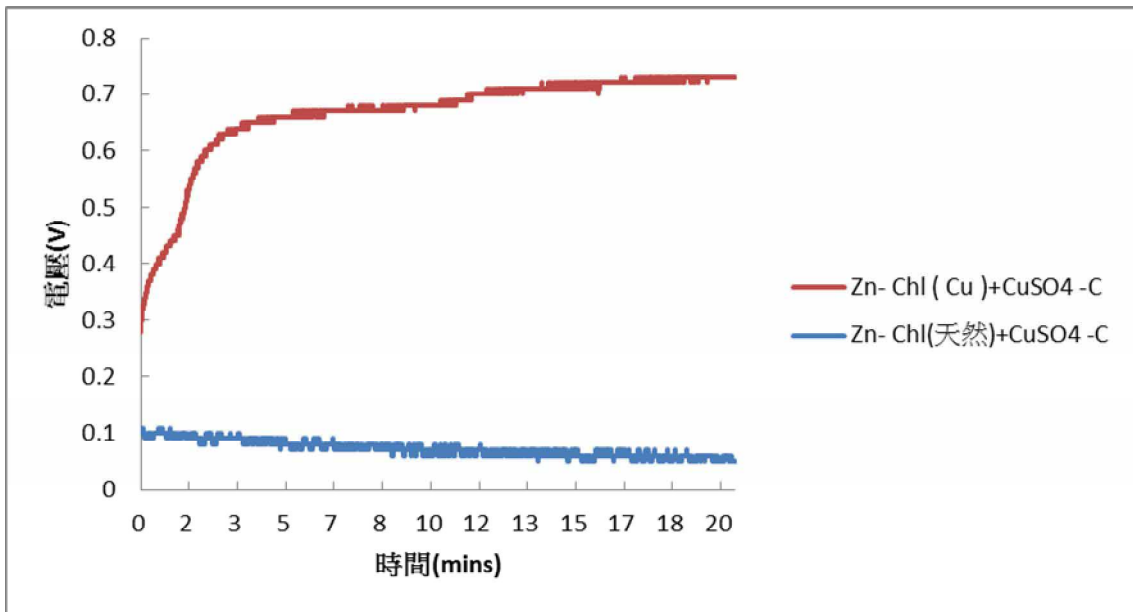


■陽極反應: $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ 陰極反應: $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$ 總反應: $\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Cu} + \text{Zn}^{2+}$

■陽極反應: $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ 陰極反應: $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ 總反應: $\text{Zn} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2 + \text{Zn}^{2+}$

實驗討論: 使用人工葉綠素時電子經外電路傳到陰極與陰極溶液中 Cu^{2+} 結合, 隨著溶液中 Cu^{2+} 減少, 電壓開始上升。使用天然葉綠素時, 因中心離子 Mg^{2+} 較安定, 電子由陽極傳至陰極後, 與葉綠素裂解水後之 H^+ 結合產生 H_2 , 而 Mg^{2+} 與 OH^- 結合使溶液 pH 上升。

(五) 實驗步驟—陽極溶液:Chl 陰極溶液:CuSO₄ 陽極:Zn 陰極:C 鹽橋:NaCl

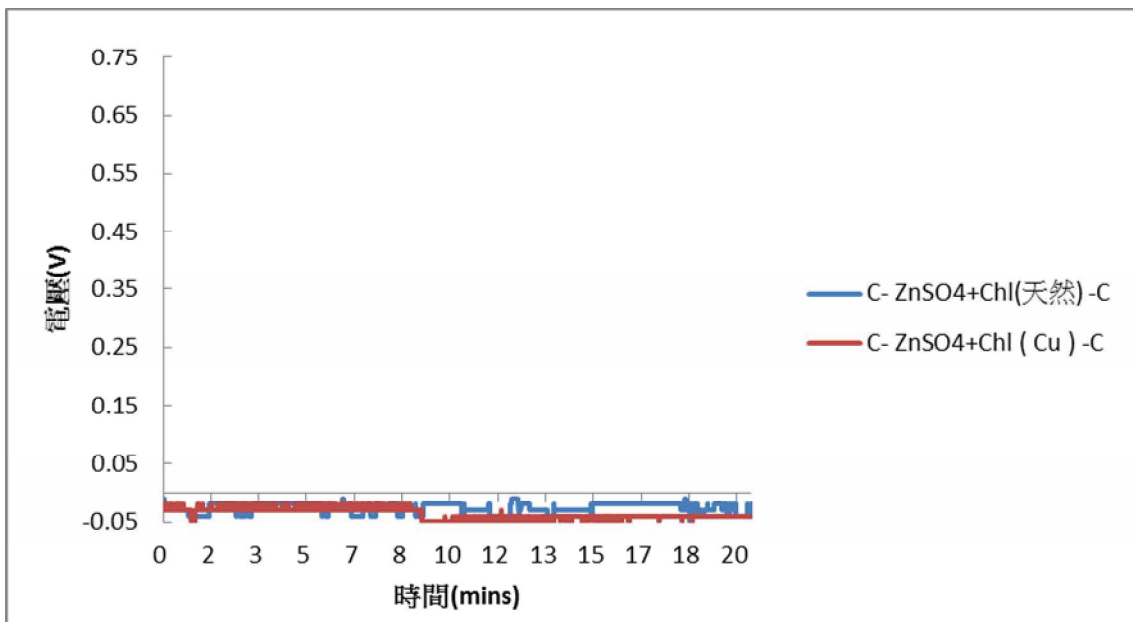


■ 陽極反應: $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$ 陰極反應: $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$ 總反應: $Zn + Cu^{2+} \rightarrow Cu + Zn^{2+}$

■ 陽極反應: $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$ 陰極反應: $2Chl^+ + 2e^- \rightarrow 2Chl$ 總反應: $Zn + 2Chl^+ \rightarrow 2Chl + Zn^{2+}$

實驗討論: 使用葉綠素銅時，電子先與葉綠素銅解離的銅離子結合，銅離子濃度減低後才傳到陰極溶液與硫酸銅解離出的銅離子結合，最後形成類似鋅銅電池的化學反應。使用天然葉綠素時，電壓輸出不理想推測是鋅與碳的電位差較小的緣故。

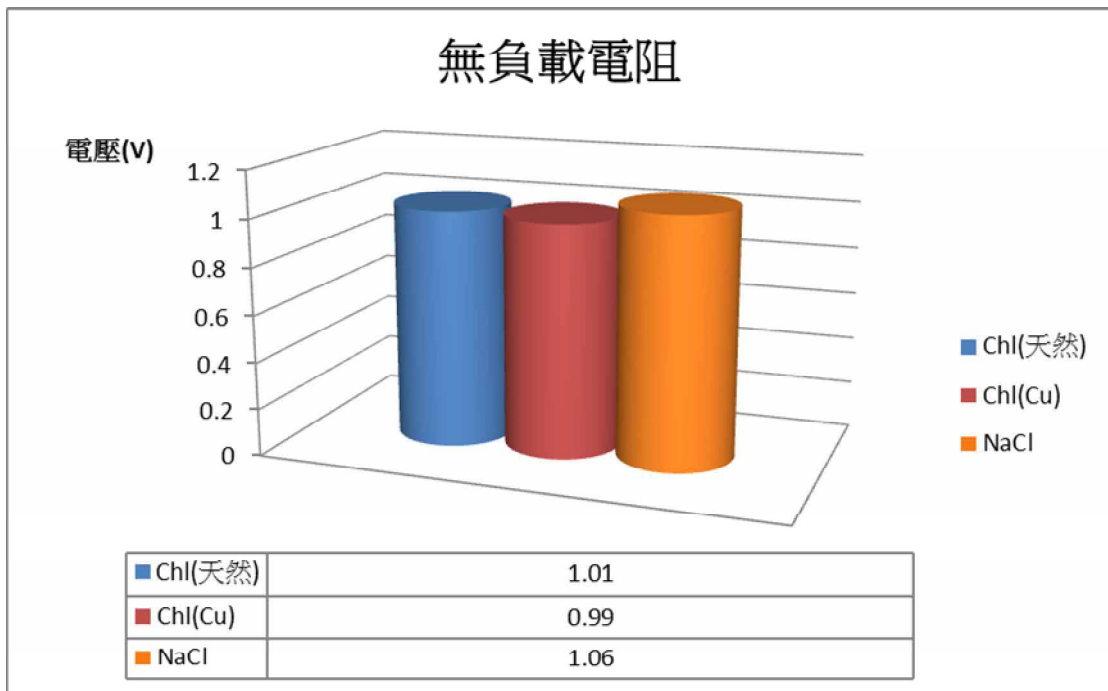
(六) 實驗步驟—陽極溶液:ZnSO₄ 陰極溶液:Chl 陽極:C 陰極:C 鹽橋:NaCl



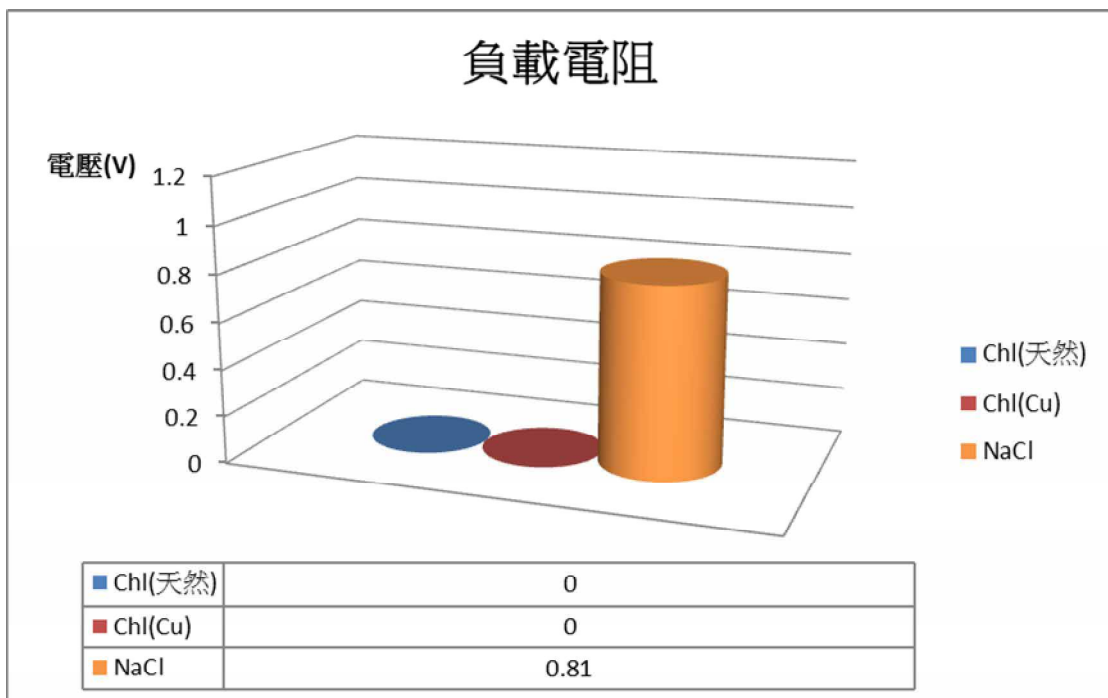
實驗討論: 正負極都為 C 時，因陽極與陰極無電位差，導致電子無法傳導。

二、 實驗二 (實驗目的一 — 改變鹽橋)

(一) 陽極溶液: ZnSO_4 陰極溶液: CuSO_4 陽極: Zn 陰極: Cu



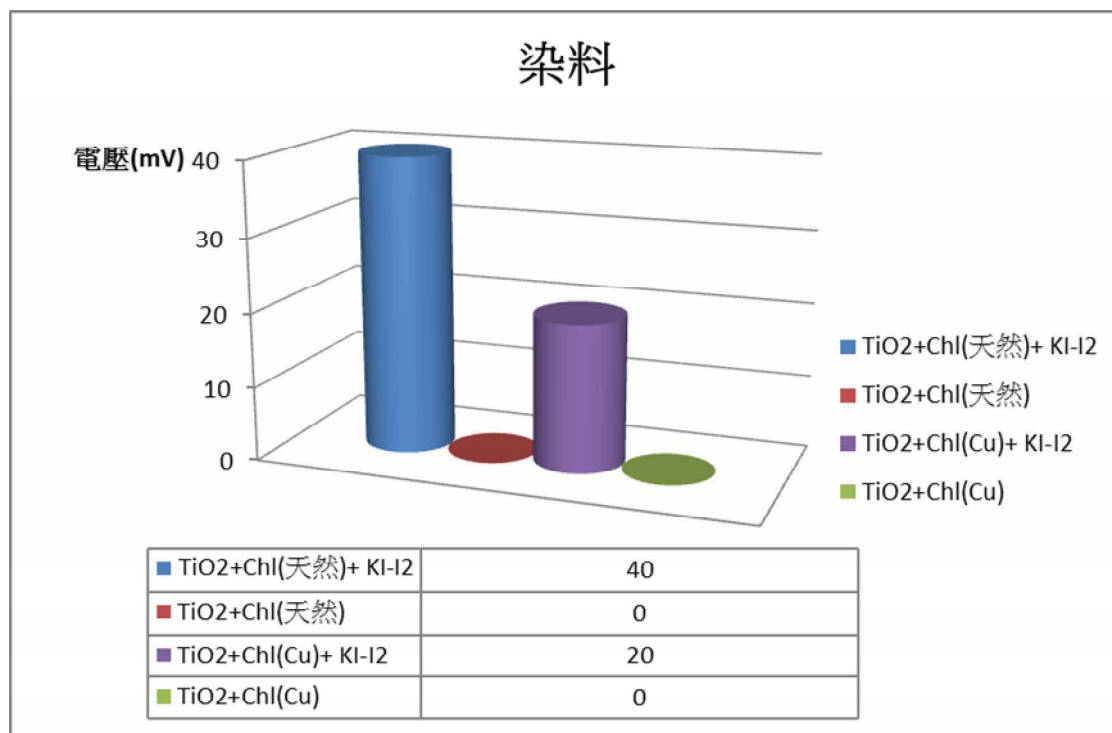
實驗討論: 天然葉綠素與葉綠素銅皆較氯化鈉稍微低, 因其內部電阻較氯化鈉大。



實驗討論: 在測量時加入 2.2K 負載電阻後, 導致使用葉綠素作為鹽橋之電池電壓大幅下降, 因葉綠素內電阻大, 而在電路上又加一電阻, 導致電流無法順利流動使電壓大幅降低, 而氯化鈉僅受些微影響。

三、實驗三 (實驗目的二)

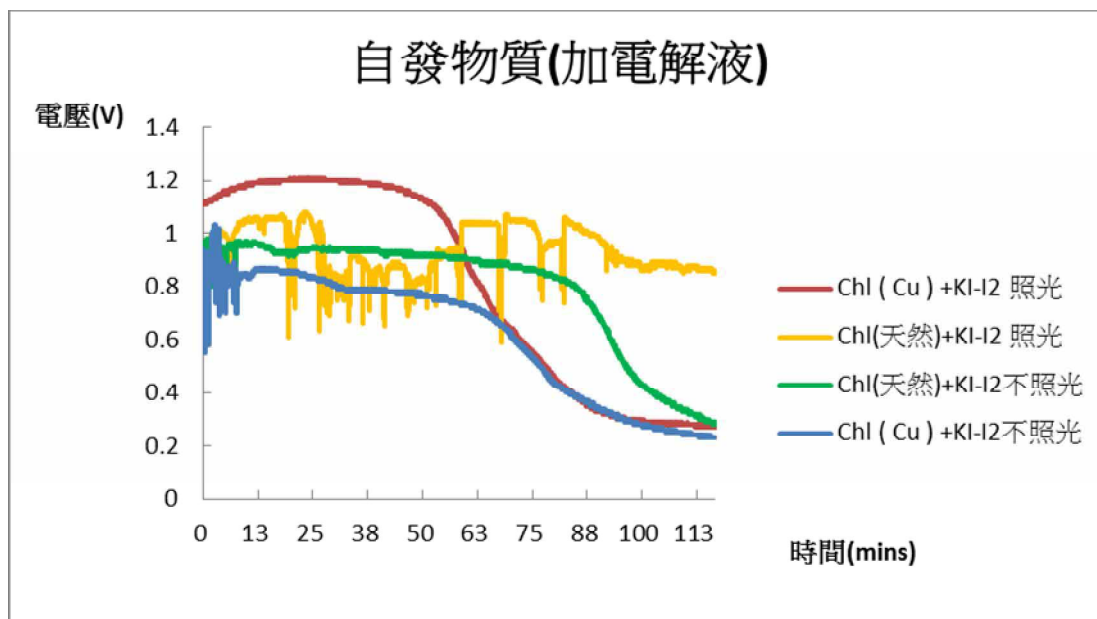
(一) 葉綠素附著於 TiO_2



實驗討論: 二氧化鈦需要電解液支持才有辦法輸出電壓，當沒有加入 $\text{KI}+\text{I}_2$ 時，葉綠素同時扮演吸光色素及電解液的角色，因葉綠素內電阻大導致電壓無法輸出。而在加入 $\text{KI}+\text{I}_2$ 後，因其內電阻小使電池能較正常輸出電壓。而在有加入電解液組別中，天然葉綠素輸出電壓較人工葉綠素高。

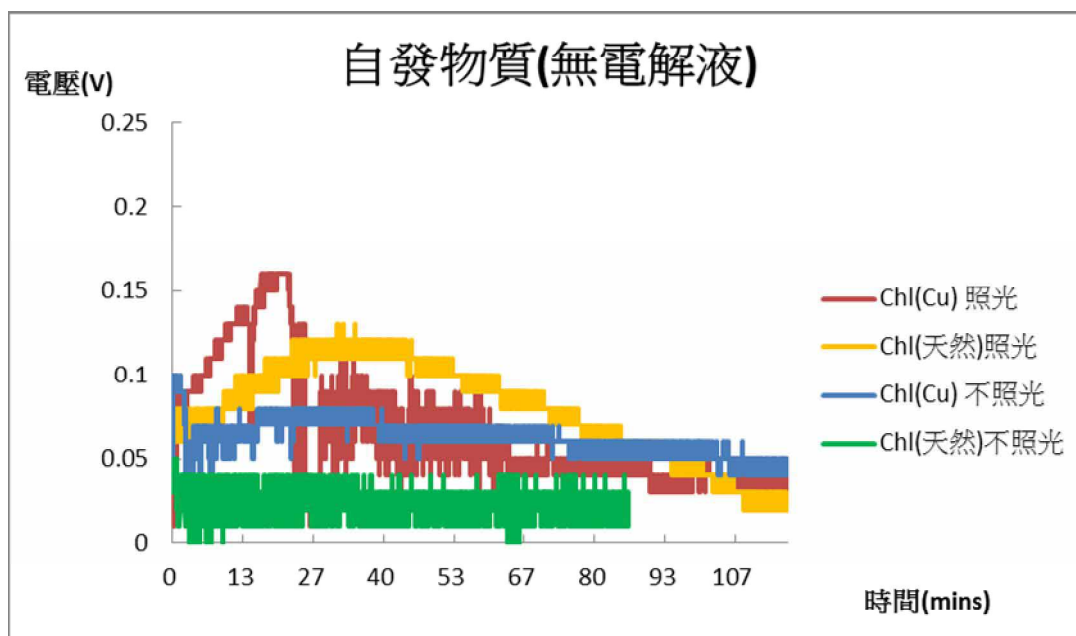
四、實驗四 (實驗目的三)

(一) 葉綠素作為自發物質，在加入電解液於照光有無的比較下。



實驗討論: 光照對於使用葉綠素為自發物質之電池有很大的影響。葉綠素照光後，會促使酵素分解水產生 H^+ 和 OH^- ，天然葉綠素較人工葉綠素持久。

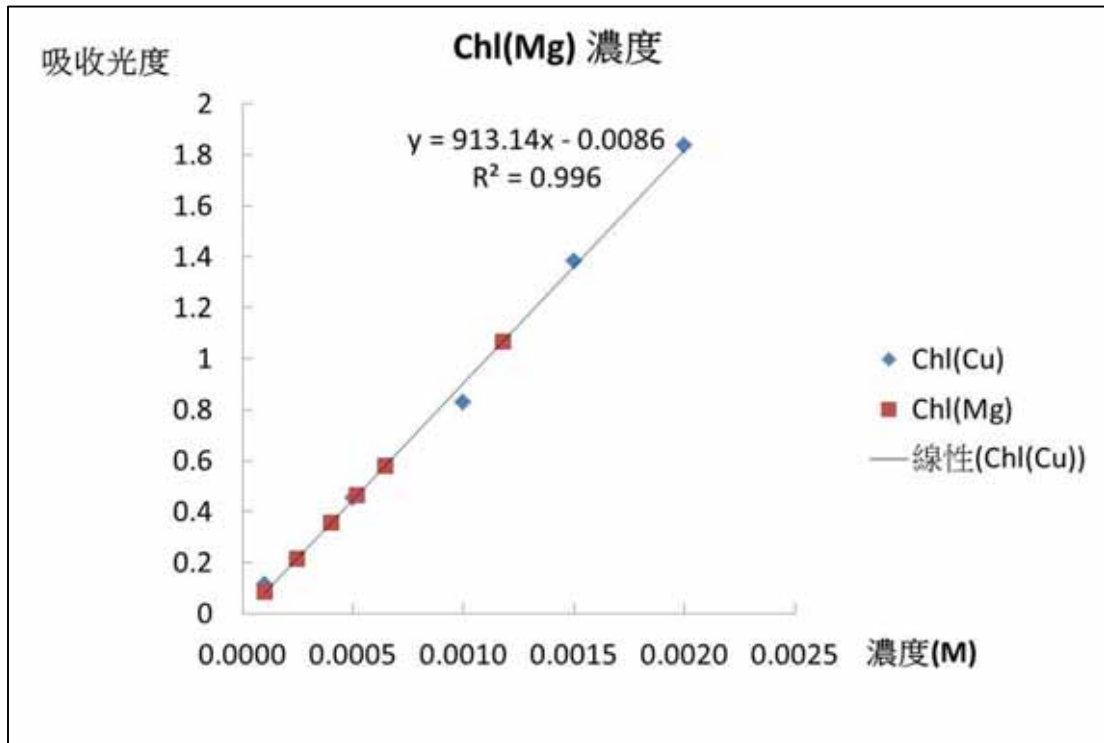
(二) 葉綠素作為自發物質，在無電解液於照光有無的比較下。



實驗討論: 葉綠素沒有電解液支持時還是有些許電壓輸出，整體來說，天然葉綠素效能比人工葉綠素高。

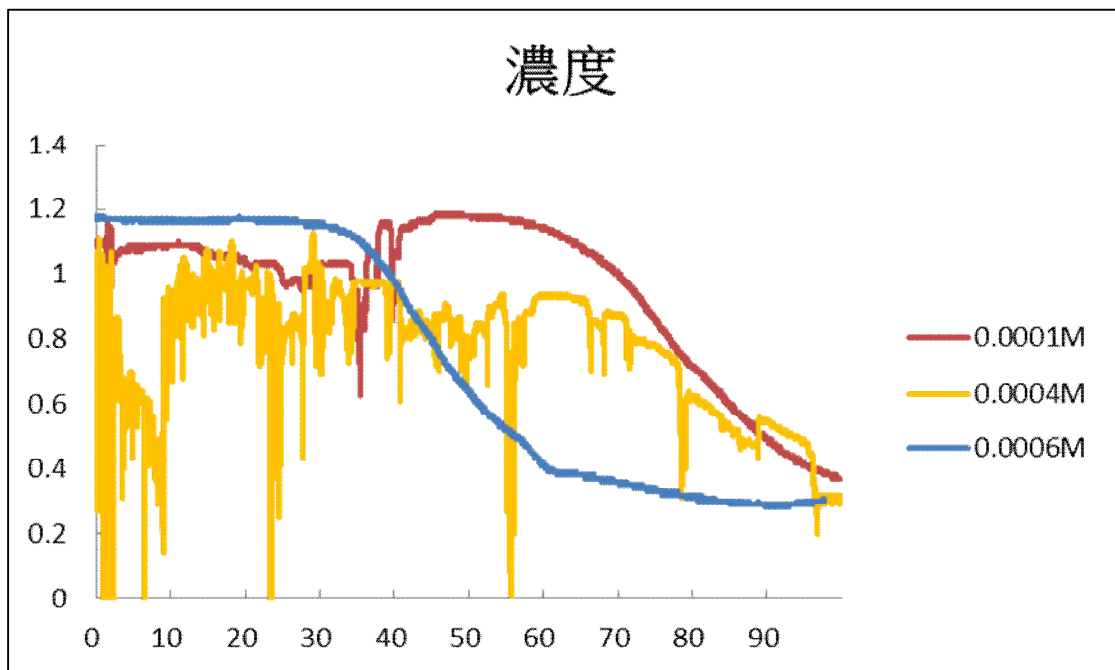
五、實驗五(實驗目的四)

(一) 人工葉綠素濃度等量線



將吸光數據帶入直線可得到葉綠素的莫爾濃度

(二) 天然葉綠素測試



陸、討論

一、實驗目的一 —— 當葉綠素作為鋅銅電池之電解質。

實驗	實驗一之一	實驗一之二
討論	<p>陽極反應:$\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^{-}$</p> <p>陰極反應:$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Cu}$</p> <p>總反應:$\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Cu} + \text{Zn}^{2+}$</p> <p>鋅釋出電子形成鋅離子，電子透過外電路傳至陰極溶液與銅離子結合，形成銅。</p>	<p>■陽極反應:$\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^{-}$</p> <p>陰極反應:$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Cu}$</p> <p>總反應:$\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Cu} + \text{Zn}^{2+}$</p> <p>■陽極反應:$\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^{-}$</p> <p>陰極反應:$2\text{H}^{+} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{H}_2$</p> <p>總反應:$\text{Zn} + 2\text{H}^{+} \rightarrow \text{H}_2 + \text{Zn}^{2+}$</p> <p>使用 Chl(Cu):鋅釋出電子形成鋅離子，電子透過外電路傳至陰極溶液與銅離子結合，形成銅。</p> <p>使用 Chl(Mg): 鋅釋出電子形成鋅離子，電子透過外電路傳至陰極溶液與氫離子結合產生少許氫氣，陰極溶液 pH 值上升。</p>
實驗	實驗一之三	實驗一之四
討論	<p>■陽極反應:$\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^{-}$</p> <p>陰極反應:$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Cu}$</p> <p>總反應:$\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Cu} + \text{Zn}^{2+}$</p> <p>■陽極反應:$\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^{-}$</p> <p>陰極反應:$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Cu}$</p> <p>總反應:$\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Cu} + \text{Zn}^{2+}$</p> <p>使用 Chl(Cu):鋅釋出電子形成鋅離子，電子先在陽極溶液與葉綠素解離出的銅離子反應，銅離子濃度減低後電子才透過外電路傳至陰極溶液與銅離子結合並</p>	<p>■陽極反應:$\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^{-}$</p> <p>陰極反應:$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Cu}$</p> <p>總反應:$\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Cu} + \text{Zn}^{2+}$</p> <p>■陽極反應:$\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^{-}$</p> <p>陰極反應:$2\text{H}^{+} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{H}_2$</p> <p>總反應:$\text{Zn} + 2\text{H}^{+} \rightarrow \text{H}_2 + \text{Zn}^{2+}$</p> <p>使用 Chl(Cu):鋅釋出電子形成鋅離子，電子透過外電路傳至陰極溶液與銅離子結合，形成銅。</p> <p>使用 Chl(Mg): 鋅釋出電子形成鋅離子，電子透過外電路傳至陰極溶</p>

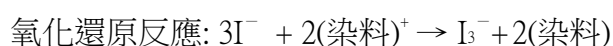
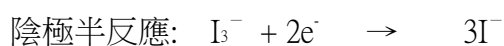
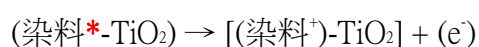
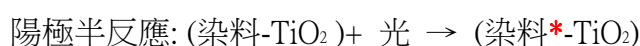
	<p>形成銅，接下來就與鋅銅電池的反應相同。</p> <p>使用 Chl(Mg): 鋅釋出電子形成鋅離子，電子先在陽極溶液與葉綠素解裂解水形成的氫離子結合，形成少許氫氣，氫離子濃度降低後再透過外電路傳至陰極溶液與銅離子結合產生銅，陽極溶液 pH 值上升</p>	<p>液與氫離子結合產生少許氫氣，陰極溶液 pH 值上升。</p>
實驗	實驗一之(五)	實驗一之(六)
討論	<p>■陽極反應:$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^{-}$</p> <p>陰極反應:$Cu^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Cu$</p> <p>總反應:$Zn + Cu^{2+} \rightarrow Cu + Zn^{2+}$</p> <p>■陽極反應: $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^{-}$</p> <p>陰極反應:$2Chl^{+} + 2e^{-} \rightarrow 2Chl$</p> <p>總反應:$Zn + 2Chl^{+} \rightarrow 2Chl + Zn^{2+}$</p> <p>使用 Chl(Cu):鋅釋出電子形成鋅離子，電子先在陽極溶液與葉綠素解離出的銅離子反應，銅離子濃度減低後電子才透過外電路傳至陰極溶液與銅離子結合並形成銅，接下來就與鋅銅電池的反應相同。</p> <p>使用 Chl(Mg):電壓輸出不理想，推測是電位差較小的緣故，還有可能是食鹽水解離出的鈉離子與氫離子會影響反應。推測鋅釋出電子與葉綠素裂解水產生的氫離子結合。</p>	<p>正負極都為 C 時，因陽極與陰極無電位差，導致電子無法傳導。</p>

- (一) 作為陽極溶液：剛開始反應時陽極溶液中的銅離子會與鋅電極丟出的電子還原成銅
因此外電路電壓偏低，當銅離子的濃度降低後才会有較多的電子透過外電路傳至陰極，而此時電壓隨之升高，電子傳至陰極後與陰極溶液中的銅離子結合，此時整個電池的反應運作和鋅銅電池相同。
- (三) 作為陰極溶液：以葉綠素銅做為陰極溶液時，電子經由外電路傳至陰極與陰極溶液中 Cu^{2+} 結合，電壓隨著 Cu^{2+} 濃度減少而下降。使用天然葉綠素時，推測電子經由外電路傳至陰極，與葉綠素分解水後之 H^+ 結合產生氫氣， Mg^+ 與分解水後之 OH^- 結合，使溶液 pH 值上升。
實驗中反應前後之 pH 值變化為: 8.9 → 9.1 。
- (四) 作為鹽橋溶液：葉綠素作為鹽橋之實驗中，若於外電路接一負載電阻(2.2K)，則沒有電壓輸出，若去除電阻則能記錄到與標準組差不多之電壓輸出，推測當葉綠素作為鹽橋時，葉綠素內電阻過大導致整個循環無法進行
的原因。

二、實驗目的二 —— 當葉綠素做為染料敏化太陽能電池之染料。

(一)作為染料：葉綠素作為染料的實驗中天然葉綠素表現較好。當 TiO₂ 沒有加入電解液時，則葉綠素此時的角色除了做為吸光色素，也被做為電解液，但無法測到電壓輸出，推測是因為葉綠素內電阻過大導致整個循環無法進行，加入電解液(KI+I₂)後就能測到些微的電壓。

化學式如下:



三、實驗目的三 —— 當葉綠素作為新型葉綠素電池之自發物質。

(一) 作為自發物質：葉綠素自發反應實驗中，除了測試葉綠素加入電解液之電池外，也進行只有葉綠素的實驗。沒有加入電解液時有些微電壓的輸出，證實葉綠素可作為自發物質使用而且葉綠素本身也具有電解質的功能，只是非常微弱，若加入電解液(KI+I₂)可以大幅增加電壓值，因電解液可以還原激發葉綠素並形成一個循環。

化學式如下:



四、實驗目的四 —— 葉綠素溶液的濃度對於發電效率之影響

濃度低時會出現電容效應，不過葉綠素放電時間比較持久，濃度高時雖然有較穩定的電壓輸出，不過放電時間卻比較短。

柒、結論

一、葉綠素做為鋅銅電池之電解質:

(一) 做為陰極溶液:

1. 其中心離子與氫氧根結合、電子與氫離子產生氫氣，而使溶液 pH 值升高。
2. 電子先與陽極溶液中葉綠素解離出的銅離子結合，銅離子濃度減低後才傳到陰極溶液與硫酸銅解離出的銅離子結合，其化學反應與原本鋅銅電池相同。

(二) 做為陽極溶液:

1. 電子先與陽極溶液中葉綠素裂解水產生的氫離子結合，氫離子濃度減低後才傳到陰極溶液與硫酸銅解離出的銅離子結合，其化學反應與原本鋅銅電池相同。
2. 其中心銅離子會先和電極反應，而隨著解離之銅離子減少，電子開始由外電路導出，最後作與鋅銅電池相似的化學反應。

(三) 做為鹽橋:

1. 因內電阻大，作為鹽橋時電壓數值較小。

二、葉綠素做為染料敏化電池之染料:

- (一) 做為染料時，也具有電解液之功能，不過是非常弱的電解質，因此沒有加入 KI+I₂ 時幾乎測不到電壓輸出。

三、葉綠素做為新型葉綠素電池之自發物質:

- (一) 照光後裂解水可使反應更為持久。
- (二) 加入電解液可增加其電壓及電壓持久度。

四、葉綠素溶液的濃度對於發電效率之影響:

- (一) 濃度在 0.0006 莫爾以下的天然葉綠素溶液放電時會出現電容效應。
- (二) 濃度確實影響葉綠素的放電，濃度低持久但不穩定，濃度高不持久卻較穩定。

捌、參考資料及其他

- 一、林鵬、黎上璋、吳郁萱 (2009)。新型葉綠素電池的研究與開發。
中華民國第 49 屆中小學科學展覽會。
- 二、張上鎮、王升陽 (民86年)。超音波快速萃取定量葉綠素。
台灣大學森林學研究所。
- 三、周誌宸(民96年)。改善染料敏化太陽能電池二氧化鈦工作電極之研究。
國立東華大學化學研究所碩士論文。
- 四、吳郁萱、黎上璋。葉綠素電池特性研究。
2010年臺灣國際科學展覽會。
- 五、張上鎮、王升陽 (1996)。超音波快速萃取定量葉綠素。
台灣大學森林學研究所。

【評語】 040211

本實驗將葉綠素作為電解液置入 Zn-C 電池檢測光照的影響，但是對化學電池、太陽能電池、螢光等基本概念未能掌握，在聯結數據的部分說服力不足。