中華民國第54屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組　化學科

030206

微型電解槽中的陰陽海

學校名稱：新竹縣立成功國民中學

作者：	指導老師：
國一 許育誠 國一 胡宗帆 國一 吳定緯	黃伶莉

關鍵詞：離子遷移速率、微型電解槽、紅鳳菜

摘要

很多電解質容易電解，反應後酸鹼性常會改變，而紅鳳菜因顏色隨 pH 值不同有明顯顏色改變，且水溶性好，可以成為不錯的酸鹼指示劑素材。所以本研究以紅鳳菜汁當作電解質與酸鹼指示劑，並設計微型電解實驗裝置。以碳棒當電極、培養皿當電解槽，改變電解質濃度、離子價型、陽離子水合能力、陰離子性質、溫度等條件，然後用穩定的 5V 電源供應器接電極去電解。由於選擇的陰離子都是不易丟電子的原子團，正極半反應式完全相同，在碳棒正極都會變成酸性，馬上產生一圈明顯深紅色。如電解質導電度越大，產生電流越大，正負離子移動速度越快，碳棒邊緣的深紅色會變色越快。以測量到深紅色出現時間的倒數當反應速率，可以探討不同變因對離子遷移速率的影響。

壹、研究動機

有一天，家裡買了一台電解水機，製造出來的電解水好好喝喔！突然，想到小學自然課中紅鳳菜的酸鹼實驗，如果加入不同的電解質，是不是會影響電解水的速度呢？我們把這個問題告訴自然老師，老師告訴我們可以設計微型電解槽，利用碳棒正極紅鳳菜的變色快慢，來偵測不同正負離子的遷移速度。我們覺得溫度與濃度也會改變紅鳳菜的變色速度，所以展開了一系列的實驗。

貳、研究目的

不同的電解質中的陰陽離子種類、價型、陽離子水合能力、濃度不同，使得離子遷移速度不同，造成電解槽中的導電度不同，電解速度就會不同。本實驗設計實驗讓正極反應後變性，讓紅鳳菜變成紅色，用來探討溶液中離子的遷移速度關係。

一、不同硝酸鉀濃度，是否造成離子遷移速率不同？

二、不同價型電解質，是否造成離子遷移速率不同？

三、不同陽離子水合能力，是否造成離子遷移速率不同？

四、不同陰離子性質，是否造成離子遷移速率不同？

五、不同的反應溫度，是否造成離子遷移速率不同？

參、研究設備及器材

本組所設計的實驗所需的設備與裝置列於表一，其內容於「肆、研究過程或方法」進行詳細的敘述。

表一、設備與裝置

名稱	數量	名稱	數量
碳棒	2 個	燒杯	數個
自製 5V 電源供應器	1 個	方格紙	1 張
鱷魚夾	2 個	三用電錶	1 個
紅鳳菜	適量	培養皿	6 個
漏斗	3 個	硫酸銅	適量
濾紙	3 片	硝酸鉀	適量
玻璃棒	2 根	硝酸銅	適量
手機充電器	1 組	硝酸鈉	適量
量筒	6 個	醋酸鈉	適量
滴管	數個	碼錶	1 個

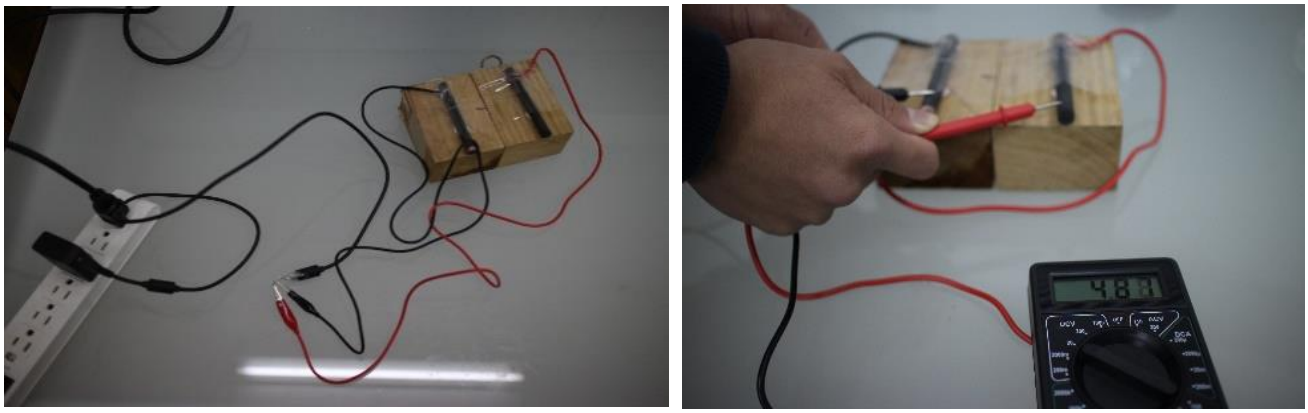
肆、研究過程或方法

本組研究所使用的實驗裝置、原理與實驗過程如下所示：

一、實驗裝置

(一) 自製穩定電源供應器：市售的電源供應器價格很高，但是電池供應電源電壓並不穩定，所以本研究決定自製直流電源供應器（如圖一）。

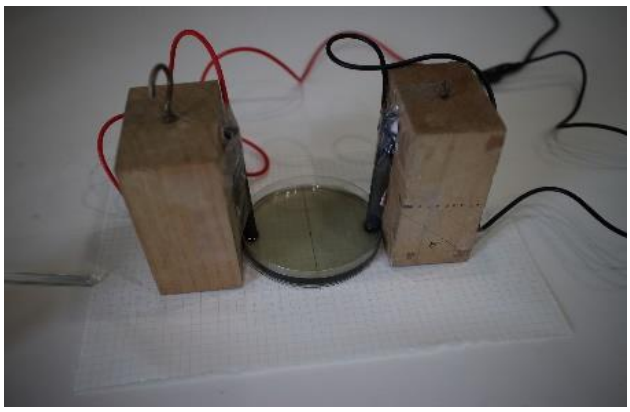
1. 首先將手機充電器的連接頭 USB 線剪斷，取出 USB 線中的正極（紅色）與負極（黑色）電線。
2. 其餘線路以絕緣膠布絕緣，以三用電錶測量兩端電壓，檢查電壓是否穩定。經測量，確定為接近 5V 穩定直流電壓。



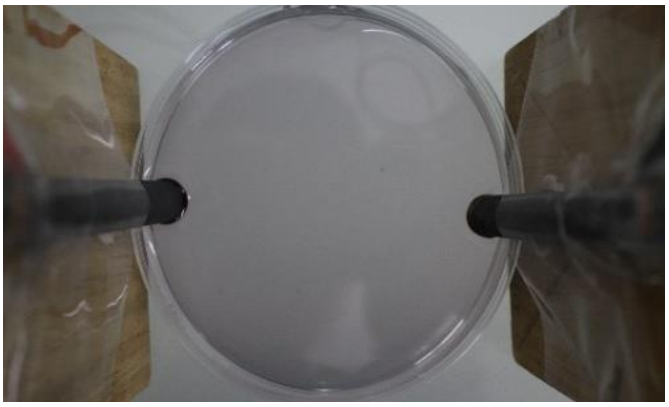
圖一、自製穩定電壓供應器

(二)設計微型電解槽裝置（見圖二與圖三）

1. 將鱷魚夾其中一端夾接上電源供應器的正負極，另一端剪去鱷魚夾夾子，剩下電線，用膠帶黏住電線和碳棒並固定黏在 2 塊木塊上。
2. 再次以三用電錶測量兩端電壓，測量碳棒是否仍有穩壓。



圖二、實驗裝置圖



圖三、實驗裝置圖俯瞰圖

(三)製作紅鳳菜汁（見圖四）

1. 將紅鳳菜剪碎，加入熱水充分攪拌溶解。
2. 讓溫度下降到室溫。
3. 用濾紙過濾雜質，得到紅鳳菜汁以供備用。

圖四、紅鳳菜汁的製備

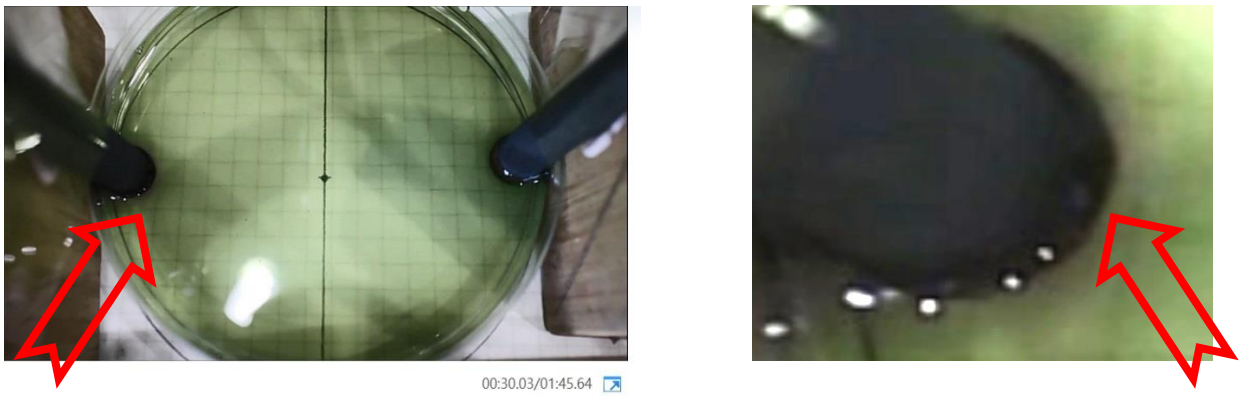
二、實驗流程：本研究實驗的流程如圖五所示。

圖五、實驗流程圖

三、實驗原理

(一)電流在溶液中的傳導是由陰、陽離子分別向陽極、陰極定向移動共同承擔完成。而在溶液內部通過正負離子定向遷移來導電，也就是說整個溶液的電導是由正負離子定向遷移所貢獻。如果離子遷移速率快，電導 G（electric conductance）大，供應穩定電壓時，電流就會大，反應速速率快，正極變色就越快。

(二)本實驗在電解過程利用紅鳳菜汁當作指示劑與電解液。設計實驗讓電極隨之產生酸鹼變化，當電極產生化學反應，就會分別在兩電極產生明顯的顏色變化，正極產生酸性反應，正極的紅鳳菜汁就會變成紅色。一發現紅色出現，表示反應終點，便測量從開始通電到變紅色瞬間的時間，如圖六所示。以時間的倒數作為反應速率的依據，且每次實驗重複做三次做平均統計。另外，雖然以 5V 直流電壓驅動，但是選擇的藥品濃度很小(最大的濃度只有 0.1M)，所以電極極化現象並不明顯，如所有實驗的圖示，均無氣泡產生。



圖六、右邊正極一出現紅色，表示反應終點

(三)電解槽的離子半反應式

1. 不同濃度的硝酸鉀反應

正極：$2H_2O \rightarrow 4H^+ + O_2 + 4e^-$……紅鳳菜變紅色

負極：$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$……紅鳳菜變綠色

2. 不同價型電解質

（1） 2-2 價型：硫酸銅反應

正極：$2H_2O \rightarrow 4H^+ + O_2 + 4e^-$……紅鳳菜變紅色

負極：$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$ ……紅鳳菜不變色

（2） 2-1 價型：硝酸銅反應

正極：$2H_2O \rightarrow 4H^+ + O_2 + 4e^-$……紅鳳菜變紅色

負極：$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$ ……紅鳳菜不變色

（3） 1-1 價型：硝酸鉀反應

正極：$2H_2O \rightarrow 4H^+ + O_2 + 4e^-$ ……紅鳳菜變紅色

負極：$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ ……紅鳳菜變綠色

3. 不同陽離子水合能力

（1） 硝酸鈉反應

正極：$2H_2O \rightarrow 4H^+ + O_2 + 4e^-$ ……紅鳳菜變紅色

負極：$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ ……紅鳳菜變綠色

（2） 硝酸鉀反應

正極：$2H_2O \rightarrow 4H^+ + O_2 + 4e^-$ ……紅鳳菜變紅色

負極：$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ ……紅鳳菜變綠色

4. 不同陰離子性質

（1） 硝酸鈉反應

正極：$2H_2O \rightarrow 4H^+ + O_2 + 4e^-$……紅鳳菜變紅色

負極：$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ ……紅鳳菜變綠色

（2） 醋酸鈉反應

正極：$2H_2O \rightarrow 4H^+ + O_2 + 4e^-$……紅鳳菜變紅色

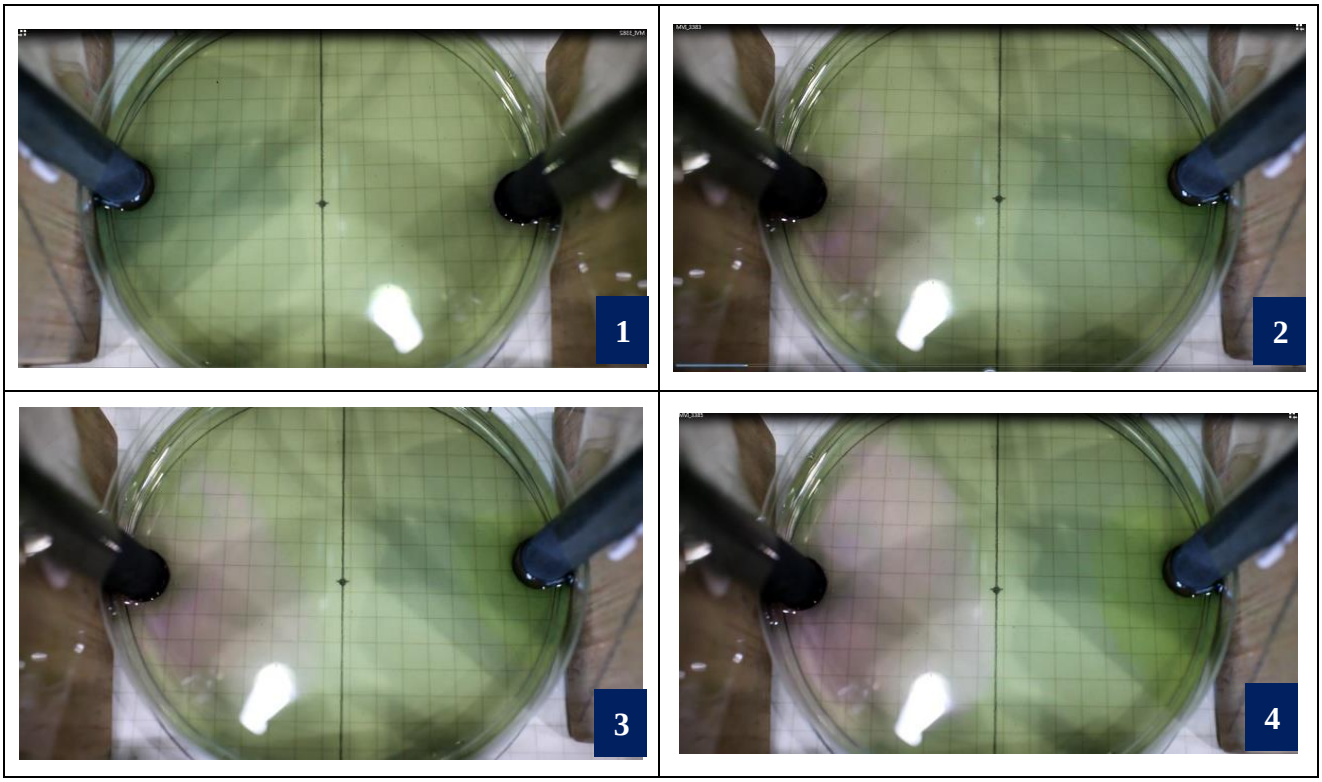
負極：$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ ……紅鳳菜變綠色

5. 不同溫度與不同濃度

正極：$2H_2O \rightarrow 4H^+ + O_2 + 4e^-$……紅鳳菜變紅色

負極：$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ ……紅鳳菜變綠色

以上所有正極半反應都會產生酸性變化，使得紅鳳菜變成紅色，本研究以正極的紅鳳菜一出現「紅」色當作反應終點，變色需要時間越短，表示離子的遷移速度快。圖七為當碳棒產生一圈深紅色，擴散後，微型電極陰陽海變色歷程。



圖七、碳棒產生一圈深紅色，擴散後微型電極陰陽海變色歷程

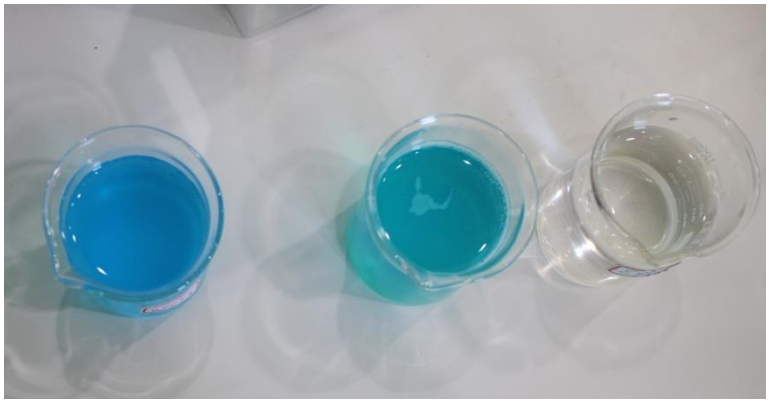
四、實驗步驟

(一)不同硝酸鉀濃度，造成離子遷移速率不同。

1. 將 1M 的硝酸鉀 5mL 升和 20mL 的紅鳳菜汁，充分攪拌後，倒入培養皿靜置三十秒，減少紊流擾動保持靜止。
2. 將步驟 1 的培養皿放入自製微型電解設備中，打開電源開關同時按下碼錶，等到培養皿的液體改變顏色，正極端變紅色，暫停計時，測量並紀錄秒數。
3. 徹底用清水洗淨電極與實驗裝置，相同濃度重複三次實驗測量。
4. 分別改以 5mL 濃度 0.5M、0.25M、0.125M 的硝酸鉀和 20mL 的紅鳳菜汁倒入培養皿，重複實驗並紀錄其結果。

(二)不同電解質價型（見圖八），造成離子遷移速率不同。

1. 將 0.25M 的 5mL「2-2 價型硫酸銅」和 20mL 的紅鳳菜汁，充分攪拌後，倒入培養皿靜置三十秒，減少紊流擾動保持靜止。
2. 將步驟 1 的培養皿放入自製微型電解設備中，打開電源開關同時按下碼錶，等到培養皿的液體改變顏色，正極端變紅色，暫停計時，測量並紀錄秒數。
3. 徹底用清水洗淨電極與實驗裝置，相同濃度重複三次實驗測量。
4. 改將 0.25M 的 5mL「2-1 價型硝酸銅」重複實驗並紀錄其結果。



圖八、不同價型的電解質依序是硫酸銅、硝酸銅、硝酸鉀

(三)不同陽離子水合能力，造成離子遷移速率不同。

1. 將 0.5M 的 5mL「硝酸鈉」和 20mL 的紅鳳菜汁，充分攪拌後，倒入培養皿靜置三十秒，減少紊流擾動保持靜止。

2. 將步驟 1 的培養皿放入自製微型電解設備中，打開電源開關同時按下碼錶，等到培養皿的液體改變顏色，正極端變紅色，暫停計時，測量並紀錄秒數。
3. 徹底用清水洗淨電極與實驗裝置，相同濃度重複三次實驗測量。
4. 改將 0.5M 的 5mL「硝酸鉀」重複實驗並紀錄其結果。

(四)不同陰離子性質，造成離子遷移速率不同。

1. 將 0.5M 的 5mL「硝酸鈉」和 20mL 的紅鳳菜汁，充分攪拌後，倒入培養皿靜置三十秒，減少紊流擾動保持靜止。
2. 將步驟 1 的培養皿放入自製微型電解設備中，打開電源開關同時按下碼錶，等到培養皿的液體改變顏色，正極端變紅色，暫停計時，測量並紀錄秒數。
3. 徹底用清水洗淨電極與實驗裝置，相同濃度重複三次實驗測量。
4. 改將 0.5M 的 5mL「醋酸鈉」重複實驗並紀錄其結果。

(五)不同溫度，造成離子遷移速率不同。

1. 將室溫「15℃」，0.25M 的硝酸鉀 25mL 和 100mL 的紅鳳菜汁，充分攪拌後，倒入培養皿靜置三十秒，減少紊流擾動保持靜止。
2. 將步驟 1 的溶液倒出 25mL 放入培養皿放入自製微型電解設備中，打開電源開關同時按下碼錶，等到培養皿電解槽的正極端變紅色，暫停計時，測量並紀錄秒數，重複測量三次。
3. 將 0.25M 的硝酸鉀 50mL 升和 200mL 的紅鳳菜汁裝在燒杯中，充分攪拌後，放在酒精燈上開始加熱，一面加熱一面用熱電偶溫度計的三用電表探針金屬測量溫度（如圖九），探針不可以碰觸容器壁。
4. 溫度逐次加熱到 21℃、40℃、60℃，各取將 0.25M 硝酸鉀與紅鳳菜 25mL 混合液型實驗，重複實驗三次並紀錄其結果。

圖九、用熱電偶溫度計測量液體溫度

伍、研究結果

經由以上實驗，本研究得出不同硝酸鉀濃度、不同電解質價型、不同陽離子水合能力、不同陰離子性質以及不同的溫度，造成離子遷移速率不同，以下為個別因素的討論。

一、不同硝酸鉀濃度，造成離子遷移速率不同

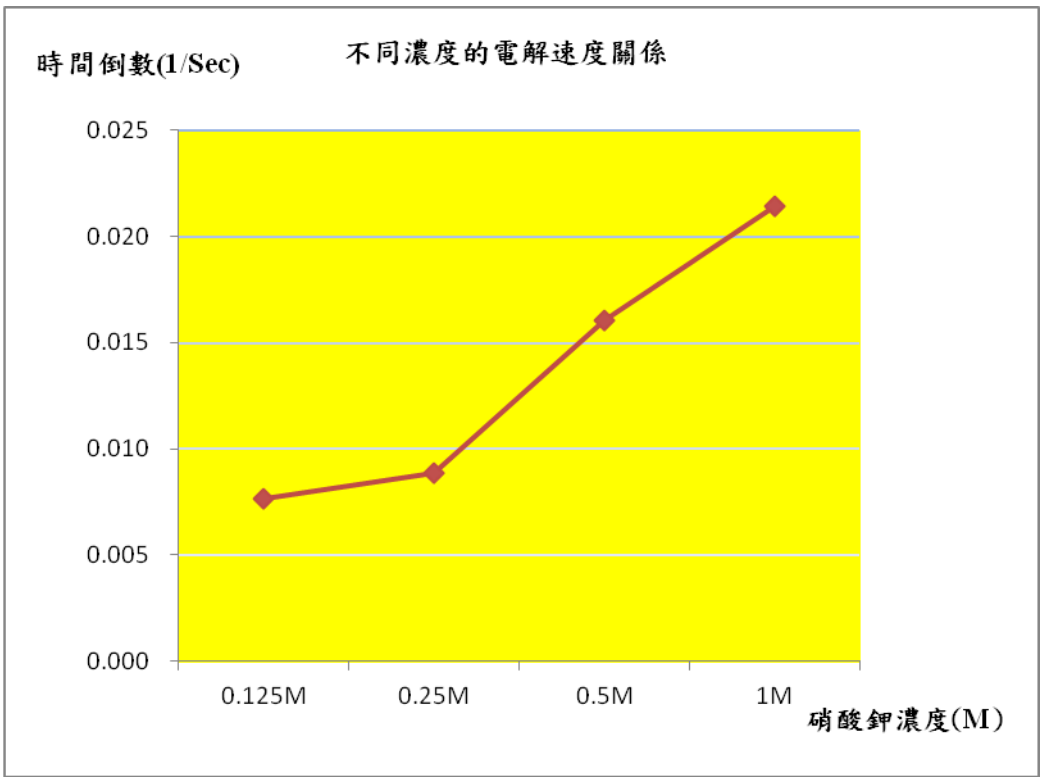
由表二與圖十可看出：

(一)濃度越大，電解槽中離子數量越多，可以幫助導電的粒子越多。電導越強，整體的電流增大，變色時間越短，離子遷移速變大。

(二)隨著濃度變大時間倒數（反應速率）卻產生負偏差。因為濃度大此時正負離子的距離越小，離子間靜電力更強，產生引力，使得離子的遷移速率變化量減少。

表二、不同硝酸鉀濃度

硝酸鉀濃度	0.125M	0.25M	0.5M	1M
第一次	126	117	63	47
第二次	144	116	62	46
第三次	121	107	62	47
平均	130.3	113.3	62.3	46.7
時間倒數	0.007675	0.008826	0.016051	0.021413



圖十、不同濃度的硝酸鉀電解速度關係

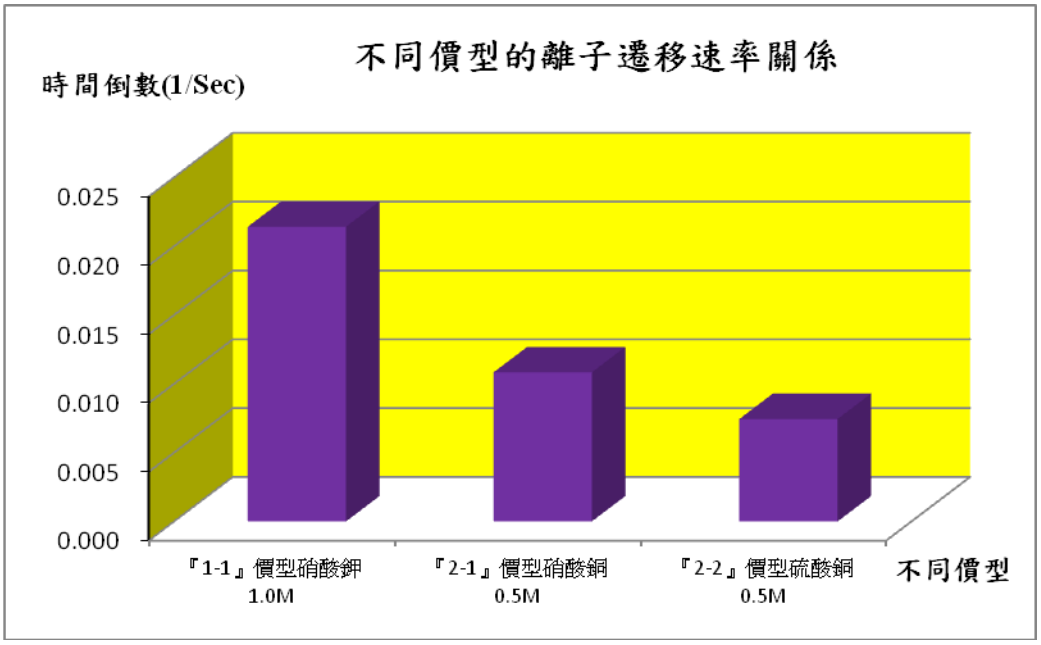
二、不同電解質價型，造成離子遷移速率不同

由表三與圖十一可看出，不同電解質價型，相同濃度下離子強度越大者，離子活度越小，電解反應的速率越慢。

離子遷移速率　『1-1』價型　>　『2-1』價型　>　『2-2』價型

表三、不同電解質價型

不同價型	『1-1』價型硝酸鉀 1.0M	『2-1』價型硝酸銅 0.5M	『2-2』價型硫酸銅 0.5M
第一次	47	94	146
第二次	46	93	128
第三次	47	90	129
平均	46.7	92.3	134.3
時間倒數	0.0214	0.0108	0.0074



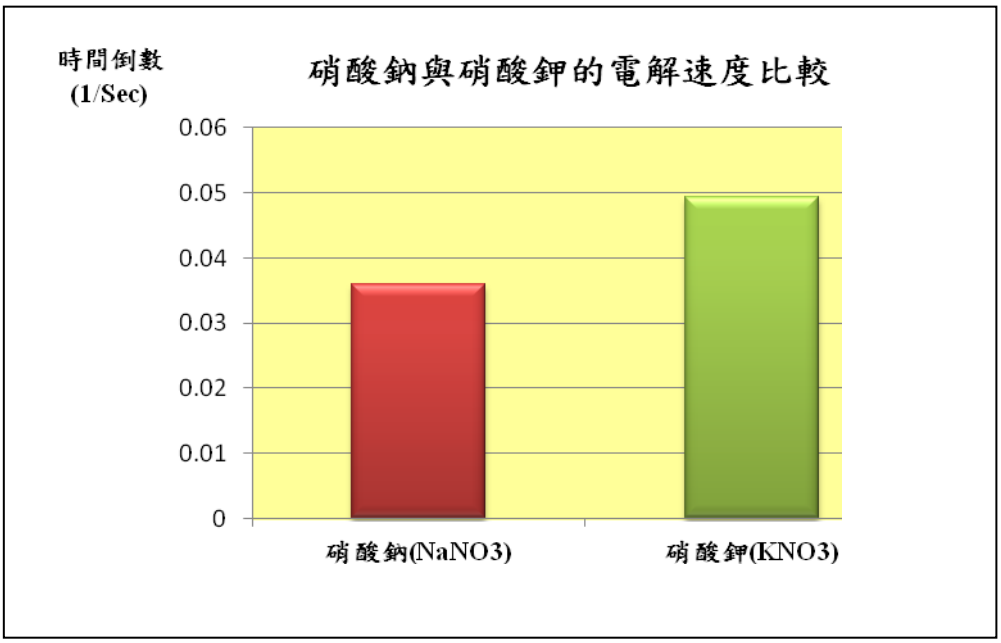
圖十一、不同價型的離子遷移速率關係

三、不同陽離子水合能力，造成離子遷移速率不同

由表四與圖十二的結果發現，相同濃度、相同 1-1 價型的硝酸鈉($NaNO_3$)與硝酸鉀(KNO_3)，硝酸鈉的分子量比硝酸鉀的分子量小，反而是硝酸鉀(KNO_3)遷移速度比較快。這是因為陽離子在水中是以「水合離子」的型態存在，鈉離子的水合離子半徑大，所以離子遷移速度較慢。

表四、硝酸鈉($NaNO_3$)、硝酸鉀(KNO_3)電解速度比較

	硝酸鈉($NaNO_3$)	硝酸鉀(KNO_3)
第一次	27	22
第二次	28	20
第三次	28	19
第四次	28	20
平均	27.75	20.25
時間倒數	0.0360	0.0494



圖十二、硝酸鈉與硝酸鉀的電解速度比較

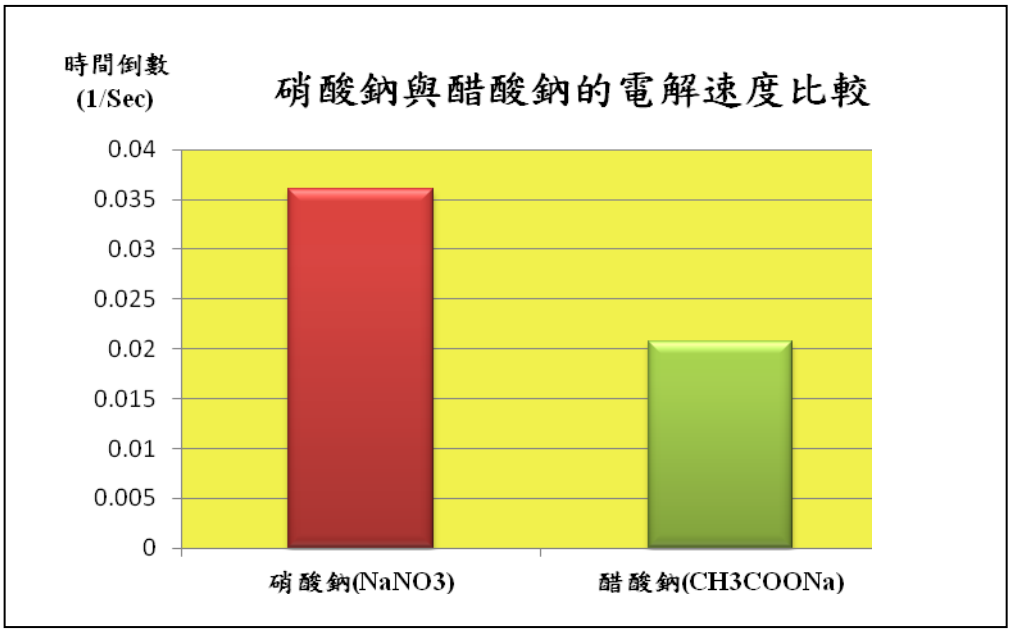
四、不同陰離子性質，造成離子遷移速率不同

硝酸根的幾何結構十分對稱，在離子遷移時造成的阻力較小，所以離子遷移速度較快，電解反應速度也會比較快。反之，醋酸根的幾何形狀較不對稱，阻力較大，離子遷移速度較慢，電解反應速率也會比較慢。

由表五與圖十三的數據可以推知，硝酸鈉與醋酸鈉價型相同，分子量相近，但是硝酸鈉產生的電解速度卻是比醋酸鈉快上 1.7 倍，原因將於討論詳述。

表五、硝酸鈉($NaNO_3$)、醋酸鈉(CH_3COONa)電解速度比較

	硝酸鈉($NaNO_3$)	醋酸鈉(CH_3COONa)
第一次	27	47
第二次	28	47
第三次	28	51
第四次	28	48
平均	27.75	48.25
時間倒數	0.0360	0.0207



圖十三、硝酸鈉與醋酸鈉的電解速度比較

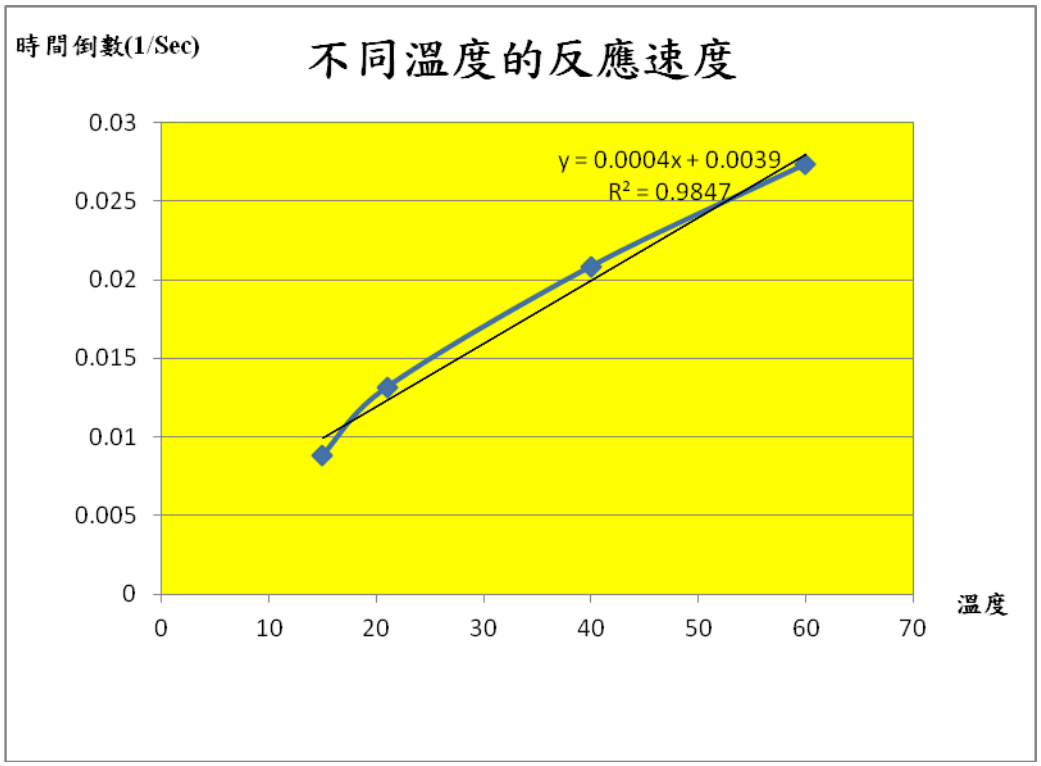
五、不同的溫度，造成離子遷移速率不同

(一)本研究設計不同的溫度條件。當溫度升高，離子的水合作用會降低，水合離子半徑愈小，在水中移動的阻力愈小，對電導的影響就較大，離子遷移速度就會增加，反應速率也變快。這由表六和圖十四可看出。

(二)在參考文獻九中也提到：「一八七四年，克依諾斯科提出電導度也能表示水中離子移動的速度。而離子移動的速度也與溫度有關，溫度愈高，離子的移動愈快，水中電導度值也增加。」這與本研究所得結果相符。

表六、不同溫度的電解速率

溫度	15℃	21℃	40℃	60℃
第一次	117	75	47	35
第二次	116	76	48	38
第三次	107	77	48	37
平均	113.3	76	48	36.6
時間倒數	0.008826	0.013158	0.021033	0.027322



圖十四、溫度越高電解速度越快

陸、討論

依據本研究所得結果，有以下討論：

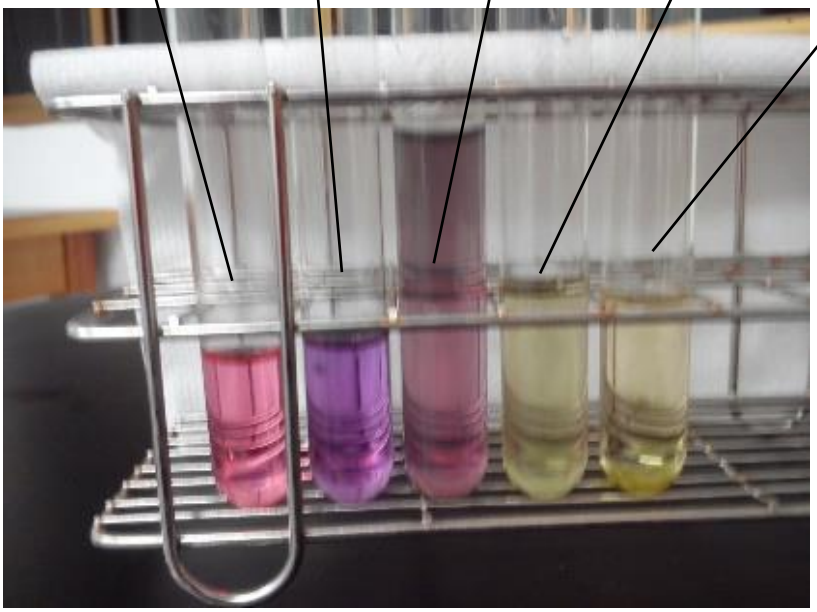
一、紅鳳菜在不同酸鹼性溶液的顏色觀察

將五隻試管倒入紅鳳菜汁，分別滴入各種酸鹼藥品，觀察變色情形。所得結果如表七和圖十五所示。

在正極碳棒的酸性反應範圍中，雖然紅鳳菜汁本身也為紅色，然而如圖十五所示紅鳳菜汁在中性環境上的紅色為暗紅色，其在酸性中為明顯的紫紅或粉紅色，此兩色在肉眼上即可明顯的辨別。而此次實驗的酸性 pH 值剛好落在純水與鹽酸間，因此這樣的顏色分辨程度很符合本研究這次實驗設計的正極碳棒的酸性反應範圍，加上紅鳳菜是我們台灣本土產的蔬菜，四季都可以採收，價格又便宜。加上只要直接用熱水煮過馬上就可以得到，因此本研究選做紅鳳菜汁做酸鹼指示劑。

表七、紅鳳菜在不同藥品的酸鹼性

	1	2	3	4	5
藥品	鹽酸	醋	純水	小蘇打水	氫氧化鈉
酸鹼性	強酸性	弱酸性	中性	弱鹼性	強鹼性
顏色	粉紅	紫紅色	紫色	綠色	綠色



圖十五、紅鳳菜在不同酸鹼性中的顏色

本實驗設計的離子遷移速度快慢比較方法，是以正極顏色出現變化為觀測終點，因此選擇正極顏色變化明顯的指示劑，是十分關鍵的。當不同電解質與稀釋後的紅鳳菜汁混合後，原來呈現的顏色是很淡的淺綠色或淺紫色，一產生反應馬上有明顯的一圈深紅色在碳棒的邊緣，很容易辨識出反應終點，所以本實驗數據再現性很高，對於離子遷移速度比較，是一個很好的新方法。一般常用的酸鹼指示劑如酚酞，變色範圍的 pH 值 8.3-10.0 酸性色為無色，鹼性色為紅色，在正極將一直呈現無色，在正極端是無法變色，所以並不適合本實驗的選用。

二、紅鳳菜汁濃度變因控制

本實驗過程持續很長的時間，四組實驗在不同天進行實驗。每次煮的紅鳳菜汁，由於購買來源不同，裁剪碎片大小不一，浸泡時間誤差，所以四次的紅鳳菜汁濃度的濃度會不同，而紅鳳菜汁本身就是一種電解質，濃度大小會造成各組間的數據不相同。所以嚴謹要求各組的紅鳳菜汁濃度必須相同，讓紅鳳菜汁濃度成為控制變因。

三、電導度也能表示水中離子移動的速度

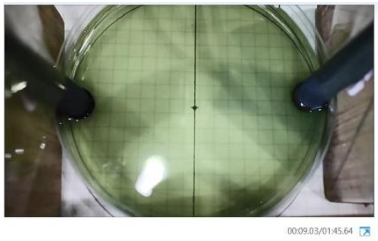
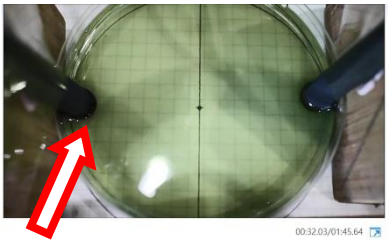
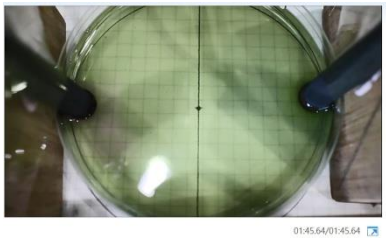
參考文獻九，「**一八七四年，克依諾斯科提出電導度也能表示水中離子移動的速度。**」

本實驗選擇的藥品大多為中性，利用紅鳳菜汁在正極紅色出現，做為電解反應終點，反應時間越短表示電導性越大，也就是離子速度越快。利用這個架構下，逐一探討不同電解質濃度、不同價型、不同水合離子大小、不同離子幾何對稱、不同溫度的離子遷移速度的關係。

四、克依諾斯科（Kohlrausch）提出電導度也能表示水中離子的遷移速率。

本研究到網路找有哪些方法可以測量離子遷移速率，有的利用粉筆、洋菜來進行實驗，大多是利用間接的測量方法。本研究設計的測量方法，可以直接在水溶液中進行離子遷移速率比較（如表八）。

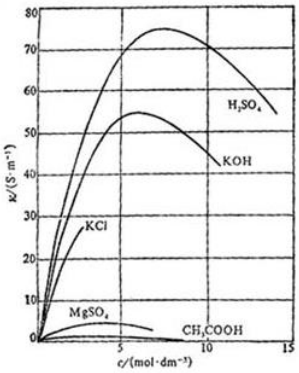
表八、水溶液離子遷移比較法

變色前	變色中	變色後
		
無氣泡	**無氣泡**	**無氣泡**

五、濃度對離子遷移速率影響的探討

(一)本實驗所採用的電解質都是強電解質，幾乎是完全解離。對強電解質溶液，一般的濃度不太高下，電導率 κ 隨濃度增加而增加。所以本研究以 1M、0.5M、0.25M、0.125M，進行實驗，濃度越大造成電解的速率越快。

(二)電解質濃度與速度並不遵守線性關係，濃度越大，正、負離子之間相互吸引作用力增大使離子定向運動速度降低（圖十六），如參考文獻六*。本研究發現當濃度過大時反而電導率會變小，本研究的實驗數據在濃度較大反而變化趨緩，正是這個原因所造成的。



圖十六、電解質濃度與速度並不遵守線性關係

參考文獻六*圖形，當濃度很大時，正負離子的靜電力太大，反而會造成電導率變小。

六、不同價型的離子遷移速度探討

參考文獻八：「在稀溶液中，離子濃度和價數對$\gamma_{\pm}$ 都有影響，而且離子價數的影響更大。據此，*Lewis* 在 1921 年將離子濃度和價數對 $\gamma_{\pm}$ 的影響的綜合起來考慮，提出了離子強度（I）的概念。」

離子強度： $I = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} c_i z_i^2$

離子強度是溶液中由於離子電荷所形成的靜電場強度的一種度量。

隨著離子強度Ｉ的增加，稀溶液的活度係數 γ± 降低。

本研究實驗得到實驗結果推算結果與理論相符合。

(一)相同負離子「硝酸根」，不同正離子「鉀離子、銅離子」

硝酸根等量	『1-1』價型硝酸鉀 1.0M	『2-1』價型硝酸銅 0.5M
離子強度	$1/2(+1)^2 \times 1 + 1/2(-1)^2 \times 1$	$1/2(+1)^2 \times 1 + 1/2(-2)^2 \times 0.5$

0.5M『2-1』價型硝酸銅離子強度比 1.0M『1-1』價型硝酸鉀離子強度大，所以離子間的靜電力較大，造成遷移速率比較小。

(二)相同正離子「銅離子」，不同負離子「硝酸根離子、硫酸根離子」

銅離子等量	『2-1』價型硝酸銅 0.5M	『2-2』價型硫酸銅 0.5M
離子強度	$1/2(+1)^2 \times 1 + 1/2(-2)^2 \times 0.5$	$1/2(+2)^2 \times 0.5 + 1/2(-2)^2 \times 0.5$

0.5M『2-2』價型硫酸銅離子強度比 0.5M『2-1』價型硝酸銅離子強度離子強度大，離子間的靜電力較大，所以造成離子遷移速率比較小。

綜合以上得知：

離子遷移速率　『1-1』價型　>　『2-1』價型>　『2-2』價型

七、無限稀釋水溶液之離子當量電導

根據參考文獻一的表格如表九：

表九、不同離子在無限稀釋下的當量電導

陽離子	λ_0^+ ($m^2/m\Omega \cdot mol$)	陰離子	λ_0^- ($m^2/m\Omega \cdot mol$)
H^+	249.8	F^-	55.4
Li^+	38.6	Cl^-	76.4
Na^+	50.1	Br^-	78.1
K^+	73.5	I^-	76.8
Rb^+	77.8	OH^-	199.2
Ag^+	61.9	NO_3^-	71.5
$1/2Mg^{2+}$	53.0	ClO_3^-	64.6
$1/2Ca^{2+}$	59.5	ClO_4^-	67.4
$1/2Ba^{2+}$	63.6	IO_4^-	54.5
$1/2Cu^{2+}$	53.6	$1/2SO_4^{2-}$	80.0
$1/2Zn^{2+}$	52.8	$1/2CO_3^{2-}$	69.3
NH_4^+	73.5	$1/4Fe(CN)_6^{4-}$	111.0
$(CH_3)_2NH_2^+$	51.8	$1/3Fe(CN)_6^{3-}$	99.1
$(CH_3)_3NH^+$	47.2	$HCOO^-$	54.6
$(CH_3)_4N^+$	44.9	CH_3COO^-	40.9

八、不同陽離子水合能力，對溶液離子遷移速度的影響

相同濃度、相同價型下，分子量相近的硝酸鉀與硝酸鈉。

週期表裡 K 在 Na 的下方，原子半徑比 Na 大，失去電子後離子半徑還是比 Na+大（兩者離子都是+1 價）K+半徑>Na+半徑（見表十）。

表十、鉀離子、鈉離子的水合半徑

離子	離子半徑（nm）	水合半徑（nm）
H_3O^+	—	0.28
Li^+	0.068	0.38
Na^+	0.095	0.36
K^+	0.133	0.33

※參考文獻二，雖然 $r_{Na+} < r_{K+}$，但是水合程度 $Na^+ > K^+$，Na^+離子水合能力強，水合後攜帶的分子量 $Na^+ > K^+$。也就是水合離子半徑 $r_{Na+（水合）} > r_{K+（水合）}$，因此鈉離子的遷移速度必較慢，電解速率越慢。

本實驗硝酸鉀的反應速率比硝酸鈉反應速率快，是因為陽離子水合能力差異造成的。試著用*參考文獻一上表以無限稀釋離子電導換算成遷移速度理論值：

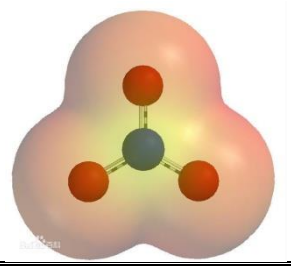
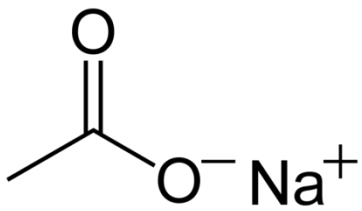
硝酸根 71.5，鈉離子 50.1，鉀離子 73.5

理論上硝酸鉀的電導大於硝酸鈉，本實驗結果與事實相符合。

九、不同陰離子性質，對溶液離子遷移速度的影響

相同濃度、相同價型下，分子量相近的硝酸鈉(85)與醋酸鈉(82)。

(一)幾何結構（參見圖十七）

硝酸根(NO_3^-)幾何結構	醋酸根(CH_3COO^-)幾何結構
參考文獻十 	參考文獻十一 

圖十七、硝酸根(NO_3^-)、醋酸根(CH_3COO^-)幾何結構比較

(二)硝酸鈉是中性的強電解質，醋酸根($CH3COO^-$)水中會水解成 CH3COOH 和 OH^-，參考文獻十：

醋酸鈉在水溶液中，是一種很弱的鹼（pKb=9.24），PH(50g/L，25℃)：7.5～9.0。

本實驗採用 0.5M，5mL 醋酸鈉水溶液加 20mL 入紅鳳菜汁顏色會仍為很淺的紫色，電解過程會發現紅色出現前一瞬間先出現顏色不尋常變化，一瞬間紅色就會出現了，這個時間差異不大，因此酸鹼性的考量可列為誤差範圍內。

本次實驗不同陰離子的幾何結構不同，硝酸根的幾何結構很對稱，所以離子遷移阻力會比較小，所以遷移速度會比較快。而醋酸根的幾何結構幾核結構較不對稱，離子遷移阻力會比較大，所以遷移速度會比較慢。

※參考文獻一，以無限稀釋離子電導：醋酸根 40.9、硝酸根 71.5、鈉離子 50.1。所以硝酸根的電導會大於醋酸根，與實驗結果相符合。

十、溫度對溶液離子遷移速度的影響

本研究設計不同的溫度條件，當溫度升高，反應終點時間縮短。用離子水合的觀點也可解式溫度對遷移速度的影響，由於溫度上升，離子的水合作用會降低，水合離子半徑愈小，在水中移動的阻力愈小，電導就會變小，離子遷移速度就會減少，反應速率也變慢。

十一、溫度控制方法

本實驗進行是的室溫是 15℃，所以以 15℃當作最低溫度，其他溫度必須加熱進行，但是避免藥品大量水蒸發影響濃度變化，採取下列方法：

(一)藥品調配的量比所需要的量大很多，讓溫度變化小。

(二)加熱到比所需的溫度略高。

(三)控溫好的藥品倒入培養皿中，以熱電偶式溫度計測量，直到本研究要的溫度，開始通電，進行實驗測量。（比如要測 40℃數據，會加熱到 42℃，等它慢慢冷卻到 40℃，才開始測量）

(四)將加熱後的大燒杯靠近測量裝置，減緩溫度變化，以達到溫度控制目地。

(五)全程反應除了室溫 15 ℃需要費時 113 秒，其他溫度分別費時 76、48、37 秒，所以本實驗測量的是反應初始溫度。反應時間越短，溫度越接近實際值。

本實驗得到的數據呈現，溫度越高，電導越大，離子遷移速越快。

十二、在做硝酸鉀實驗時，由於正極變酸性、負極變鹼性。當測量結束後，如果繼續供電，整個培養皿的顏色慢慢擴散，本研究可以從培養皿看到一邊紅一邊綠，很明顯的交界在中央線，是名符其實的陰陽海。

十三、本研究所設計的微型電極，使用的藥品用量相當少，對於環保與教學示範都能有不錯的效果，再加上本研究特別選擇的電解質，本研究可以很容易對化學反應的微觀現象做定性與定量的分析。

柒、結論

由以上的討論，本研究有以下的結論：

一、濃度越大的硝酸鉀溶液，電解反應的速率越快，但濃度過大時，正負離子引力增大，反而會產生會產生負偏差。

二、不同電解質價型，相同濃度下，高價離子的離子強度越大，離子活度越小，電解反應的速率明顯變慢。

離子遷移速率　『1-1』價型　>　『2-1』價型　>　『2-2』價型

三、相同濃度、相同價型下，雖然 $r_{Na+} < r_{K+}$，但是水合程度 $Na^{+} > K^{+}$，Na^{+}離子水合能力強，水合後攜帶的分子量 $Na^{+} > K^{+}$。也就是水合離子半徑 $r_{Na+（水合）} > r_{K+（水合）}$，因此鈉離子的遷移速度必較慢，電解速率越慢。

四、相同濃度、相同價型下、分子量相近，陰離子的幾何結構越對稱，運動阻力越小，離子遷移速度會越快，電解速率越快。

五、不同電解溫度，溫度越高，水合能力越弱，離子遷移速度會越快，電解反應的速率越快。

六、總結論：如表十一所示。

表十一、影響離子遷移速度的因素

項目	濃度		電解質價型			水合離子		離子幾何對稱		溫度	
	高	低	『1-1』價型	『2-1 價型	『2-2』價型	大(Na^{+})	小(K^{+})	對稱	不對稱	高	低
速率	快	慢	較快	次快	慢	慢	快	快	慢	快	慢

捌、參考文獻

一、胡啟章 (民 103 年 2 月 1 日)。電化學原理與方法(p18)。五南圖書出版社 。

二、高濂、孫靜、劉陽橋 (2005)。奈米粉體的分散及表面改性。五南圖書出版社。

三、辜禹仁、鄭祐傑 (2007)。磁場中的離子轉速-探討離子遷移速度變因。臺灣 2007 年國際科學展覽會。取自：http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-2/2007/pdf/030016.pdf

四、洪玫英、呂宜靜、陳玟凌、張祖禎 (2005)。哪個離子跑得快？中華民國第四十八屆中小學科學展覽會 取自：http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/48/technical/091105.pdf

五、陳琬菁、楊水平 (2011)。利用粉筆進行離子遷移。國科會高瞻自然科學教學資源平台。取自：http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=33706

六、電導率、摩爾電導率與濃度的關係。取自：

http://xmujpkc.xmu.edu.cn/wlhx/wlkc/chapter11/part2/2-3.html

七、電解質溶液。取自：
http://www.google.com.tw/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CDcQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.bb.ustc.edu.cn%2Fjpkc%2Fxiaoji%2Fwlhx%2Fskja%2Fch7.ppt&ei=PXSUU8e4DNG78gWwxoDgCQ&usg=AFQjCNFyinWapYUBTaQiC17gxVMgiUfwBA&sig2=Ejk9FsB4Afb4_7VY7Yx94A

八、離子強度，維基百科(民 100 年 9 月 11 日)。取自：

http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%A6%BB%E5%AD%90%E5%BC%BA%E5%BA%A6

九、河馬教授的網站。取自：

http://hippo.bse.ntu.edu.tw/~wenlian/history/historyB/historyB-14.htm

十、百度百科，醋酸钠。取自：

http://baike.baidu.com/view/670255.htm?fromId=180906&fr=wordsearch

十一、百度百科，硝酸根。取自：

http://baike.baidu.com/view/549835.htm?fr=wordsearch

【評語】030206

實驗變因控制宜再改進，做更多加深加廣之探討，可有更好佳績。