

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

佳作

030217

探討蝶豆花進行電解反應時內部離子與分子運動狀態

學校名稱：彰化縣立鹿鳴國民中學

| | |
|--|-------------------------|
| <p>作者：</p> <p>國三 許董雯</p> <p>國三 黃美榕</p> <p>國二 黃昭寧</p> | <p>指導老師：</p> <p>梁惕華</p> |
|--|-------------------------|

關鍵詞：蝶豆花、遷移率、濃度梯度

摘要

本研究結合電解反應以及蝶豆花遇酸鹼會變色的現象，讓正離子、負離子與不帶電分子此三類粒子，在膠體內的移動情形可「同時」透過「具體的顏色變化」來進行量測與分析。透過本實驗得知，蝶豆花膠體內部粒子受到電力作用、摩擦力作用(此處摩擦力指的是欲測量粒子在未摻雜質之蝶豆花內部所遇阻力)、濃度梯度、雜質散射等因素影響。同時，本研究也將粒子在無電場下的擴散與在電場內漂移的兩種運動情形分別分析，並求出粒子在電場作用下的遷移率。若應用於教學上，可使學生對於電解質的解離與移動方式了解有所助益，未來另可對粒子移動情形如何受到熱效應影響做進一步分析，使理論更趨完善。

壹、研究動機

老師在理化課堂講解電解單元時，提到溶液內部離子於電解時會往正負極移動，我們覺得很感興趣，但對於離子事實上如何運動仍覺得很抽象，剛好在家政課老師有讓我們做蝶豆花飲料，我們發現蝶豆花溶液會因為酸鹼度而改變顏色，這讓我想到若能將電解以及蝶豆花遇酸鹼會變色的特性結合，可以藉由通電後直接巨觀地觀察並量測物質內部離子在電解時的移動情形，因此我們開始著手設計實驗。

貳、研究目的

一、文獻回顧

關於「蝶豆花」的部分，歷屆科展主要聚焦於蝶豆花的變色機制與抗氧化性研究(彰化縣 106 年第 57 屆中小學科學、作品名稱：蝶豆花的變色機制與抗氧化性研究、金門地區第 58 屆中小學科學、作品名稱：層層蝶蝶)，無針對以離子於蝶豆花內部的電泳作為研究。

關於「電泳、電解」的部分，第四十五屆中小學科學展覽會國中組「離子趴趴走—更環保、更輕巧地進行電解、電鍍實驗」著重電解的效率，而非離子於膠體內的移動情形。中華民國第四十七屆中小學科展作品「追蹤電場的色素—平面介質中食用色素的運動研究」、台東

高中黃堃輝小論文「電解質離子在電場中移動之探討」雖有提到電解質離子在電場中移動情形，但未詳細區分低電場與高電場離子運動情形之不同，同時也未提到分子與離子於膠體運動之區別，更只能同時觀測一種帶電粒子(色素)或離子(有顏色的過錳酸根)於電場下之運動情形，無法同時觀測、比較兩個不同離子的運動狀態。

二、實驗目的

本研究希望透過電解的方式，使蝶豆花內部產生正、負不同電性的離子，並進一步研究該些離子在蝶豆花內部的電泳現象。故本實驗之實驗目的如下所列：

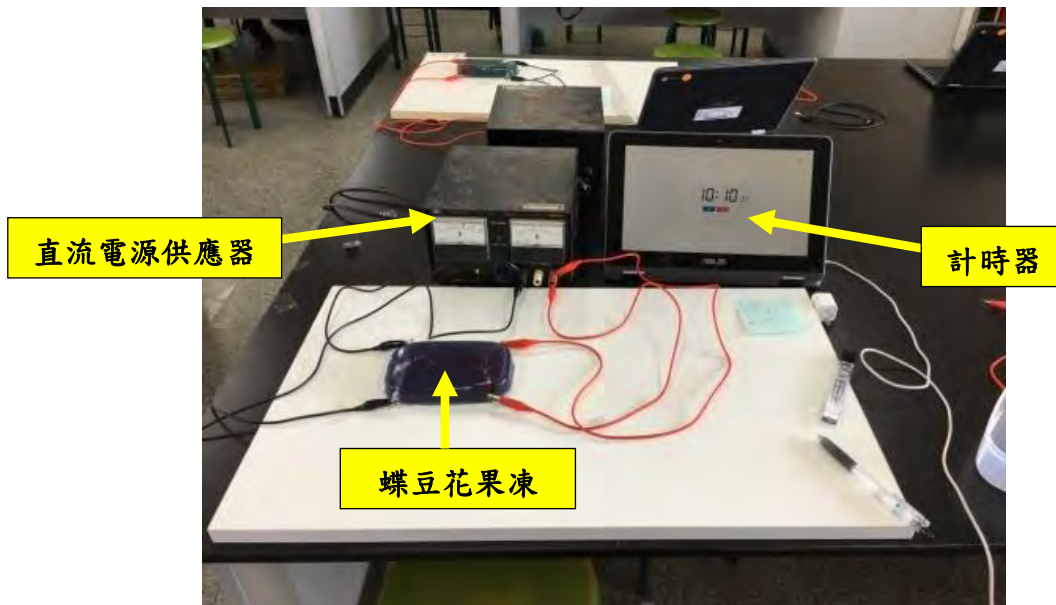
- (一) 改變兩電極電壓差，探討蝶豆花果凍內粒子移動距離與時間之關係
- (二) 改變兩電極距離，探討蝶豆花果凍內粒子移動距離與時間之關係
- (三) 改變碘化鉀濃度，探討加入碘化鉀之蝶豆花果凍內粒子移動距離與時間之關係
- (四) 改變電極間距離，探討加入碘化鉀之蝶豆花果凍內粒子移動距離與時間之關係
- (五) 計算離子於蝶豆花內部之遷移率

參、研究設備及器材

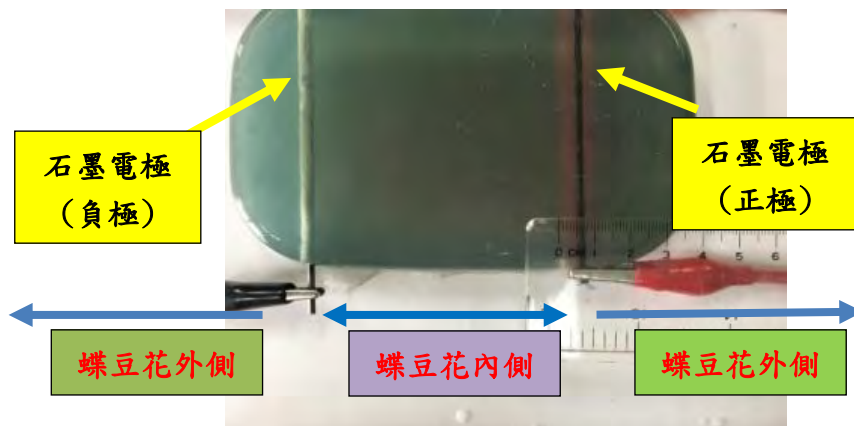
| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| 燒杯 | 蝶豆花 | 吉利T粉 | 三腳架 |
|  |  |  |  |
| 溫度計 | 玻璃棒 | 陶瓷纖維網 | 溫度計 |
|  |  |  |  |
| 2.0mm 筆芯 | 伏特計 | 酒精燈 | 直流電源供應器 |
|  |  |  |  |
| 電子秤 | 鱷魚夾 | 碘化鉀 | 硫酸鋅 |

肆、研究過程及方法

一、本實驗之實驗裝置圖



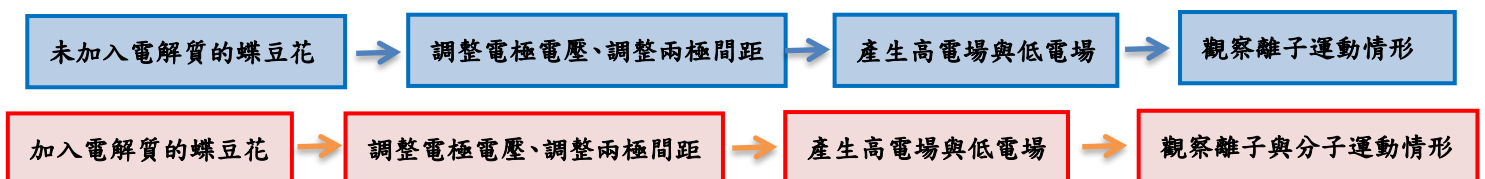
圖一：本實驗實驗裝置圖



圖二：本實驗局部實驗裝置圖

請參考圖二，本實驗透過筆芯當成電極，產生一個均勻的電場 E ，並觀察離子與分子在蝶豆花內部的運動情形。


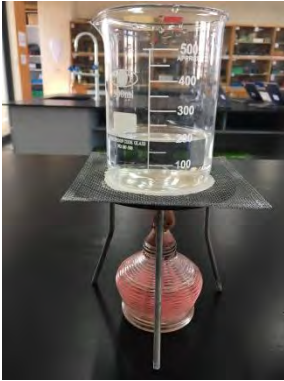
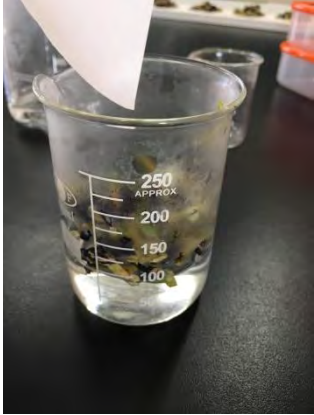


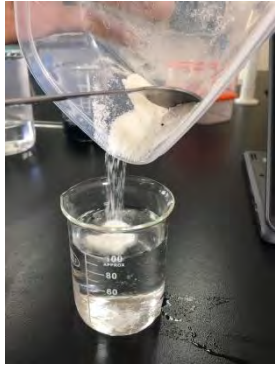
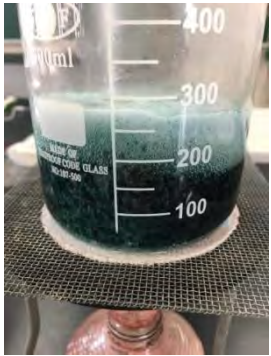

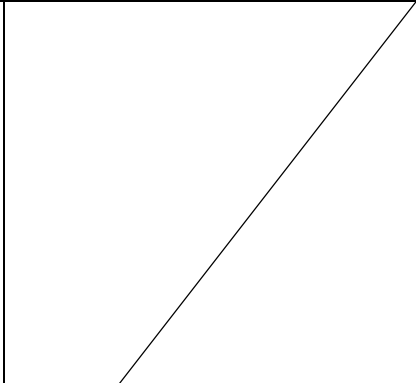
二、分析步驟簡介：



本實驗分未加入電解質與另行加入電解質兩組，觀察並量測在不同電場下粒子的運動情形。

三、前置階段實驗步驟：


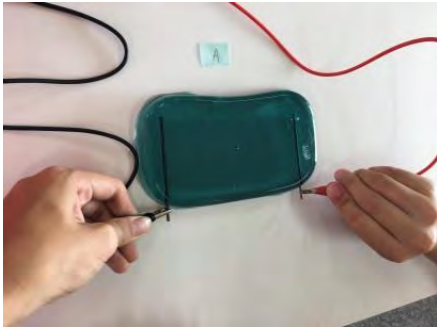




本實驗前置階段實驗步驟為製作蝶豆花果凍，其步驟如下所示：

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| <p>1、使用電子秤測量 3 公克的蝶豆花。</p> | <p>2、使用 200 毫升的水，放置陶瓷纖維網上利用酒精燈加熱至 80 度。</p> | <p>3、加熱完成後，將熱水分別盛裝於兩杯燒杯內，再將步驟 1 量好 3 公克的蝶豆花浸泡在 100 毫升的熱水中。</p> |
|  |  |  |
| <p>4、浸泡 5 分鐘後取出蝶豆花</p> | <p>5、利用電子秤測量 5 公克的吉利 T 粉</p> | <p>6、準備 100 毫升的冷水，將吉利 T 粉加入攪拌均勻</p> |
|  |  |  |
| <p>7、再將攪拌均勻的吉利 T 液體倒入剛泡好的蝶豆花水溶液中用酒精加熱至沸騰</p> | <p>8、加熱完畢後倒入盒子，於冷卻後取下蝶豆花果凍</p> | |

四、改變各變因之實驗步驟：



(一) 改變兩電極電壓差，探討蝶豆花果凍內粒子移動距離與時間之關係



實驗步驟如下所示：

| | | | |
|--|--|--|--|
|  |  | | |
| 1、先於蝶豆花果凍兩端插入 2.0mm 的 2B 筆芯作為兩電極 | 2、接上直流電源供應器 | | |
|  |  |  |  |
| 3、分別使用 10、30、50 伏特的電壓施加於兩電極上。 | 4、每 10 分鐘測量一次正極端與負極端離子的移動距離，並紀錄之。 | | |

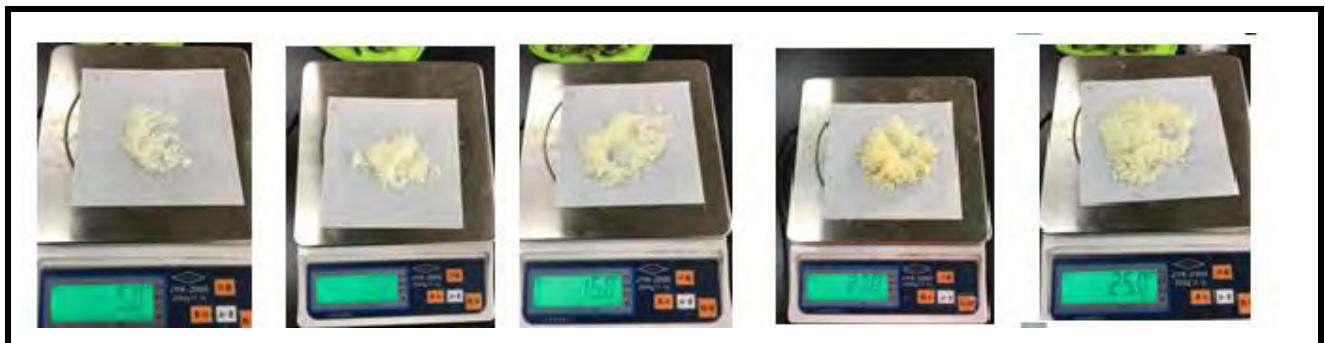
(二) 改變兩電極距離，探討蝶豆花果凍內粒子移動距離與時間之關係：

實驗步驟如下所示：

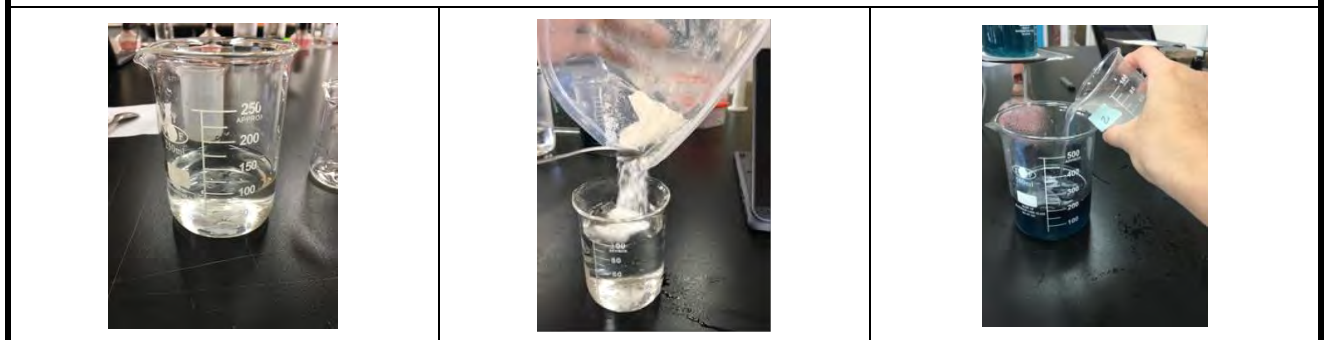
| | |
|---|--|
|  |  |
| 1、於蝶豆花果凍內部兩側先插入 2.0mm 的筆芯 | 2、接上直流電源供應器 |

| | |
|---|---|
|  |  |
| <p>3、分別於三個蝶豆花果凍內部，使電極間距離依次呈現 4cm、8cm、12cm</p> | <p>4、每 10 分鐘測量一次正極端與負極端離子的移動距離，並紀錄之。</p> |

(三) 改變碘化鉀濃度，探討加入碘化鉀之蝶豆花果凍內粒子移動距離與時間之關係：
實驗步驟如下所示：



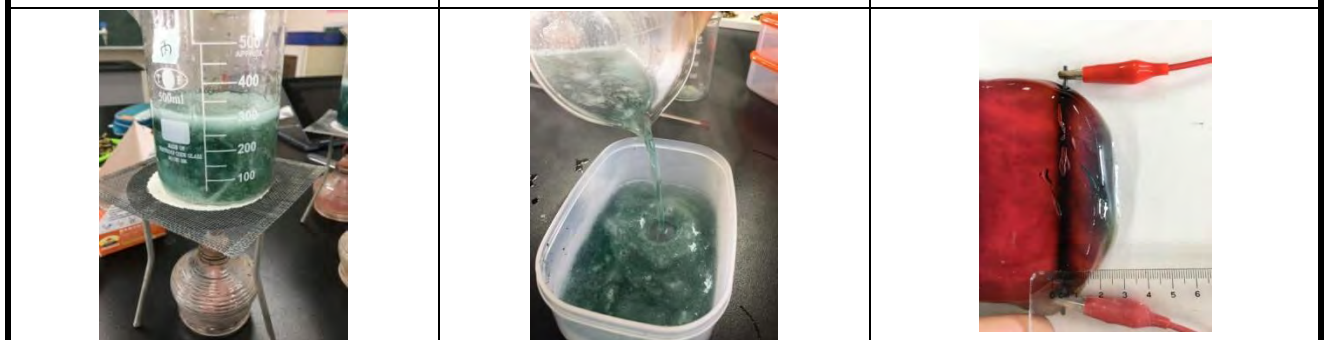
1、依重量百分濃度公式，配置 5% 及 10% 碘化鉀溶液



2、將碘化鉀依序加入水中並攪拌均勻至完全溶解

3、燒杯裝 100 毫升的水並加入 5 克吉利 T 粉，攪拌均勻

4、將碘化鉀和吉利 T 的混和溶液倒入蝶豆花汁，並攪拌均勻



5、將果凍混和液以陶瓷纖維網放置，用酒精燈加熱至沸騰冒泡

6、將其溶液倒入定型盒內，進行凝固的動作

7、以直流電壓來將果凍通電，測量一次正極端與負極端粒子移動距離，並紀錄之

(四)改變電極間距離，探討加入碘化鉀之蝶豆花果凍內粒子移動距離與時間之關係
 本步驟為第(二)、(三)部分步驟的結合，因篇幅關係，在本報告中省略。

(五)計算離子於蝶豆花內部之遷移率：

本步驟與第(一)、(二)步驟相似，差異處僅為量測時同時量測電極內側離子移動距離以及電極外側離子移動距離，因篇幅關係，在本報告中省略。

伍、研究結果



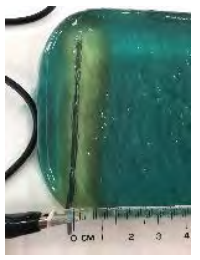
一、實驗前置階段數據量測與分析



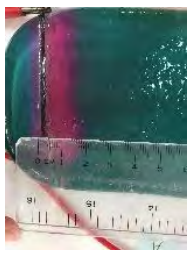
表一：浸泡時間與正、負極移動距離整理

| 浸泡時間 3 分鐘，兩端電極電壓差 10 伏特 | | | |
|-------------------------|-------|-------------------|-------|
| 施加電壓時間 | 10 分鐘 | 20 分鐘 | 30 分鐘 |
| 負極處顏色移動距離(cm) | 0.5 | 1.0 | 1.0 |
| 正極處顏色移動距離(cm) | 1.0 | 1.5 | 2.0 |
| 浸泡時間 5 分鐘，兩端電極電壓差 10 伏特 | | | |
| 施加電壓時間 | 10 分鐘 | 20 分鐘 | 30 分鐘 |
| 負極處顏色移動距離(cm) | 0.5 | 0.5 | 1.0 |
| 正極處顏色移動距離(cm) | 1.0 | 1.0 | 1.5 |
| 浸泡時間 7 分鐘，兩端電極電壓差 10 伏特 | | | |
| 施加電壓時間 | 10 分鐘 | 10 分鐘之後 | |
| 負極處顏色移動距離(cm) | 0.5 | 產生蝶豆花溶解的現象，所以停止量測 | |
| 正極處顏色移動距離(cm) | 0.5 | | |

我們觀察到蝶豆花浸泡在沸水內 3 分鐘，蝶豆花內部物質(含花青素)溶入過少，變色效果較不明顯，而浸泡時間在沸水內 7 分鐘，則容易在兩極產生蝶豆花溶解的現象，推測可能原因為蝶豆花內部物質(含花青素)溶入過多，使蝶豆花果凍電阻增加，而於通電後產生較明顯之電流熱效應而使蝶豆花溶解。故於本實驗中，控制所有蝶豆花果凍均為將 3g 蝶豆花加入 100 毫升的水，浸泡時間 5 分鐘。以下是此種果凍配方施予電壓 10 伏特請參考表二。



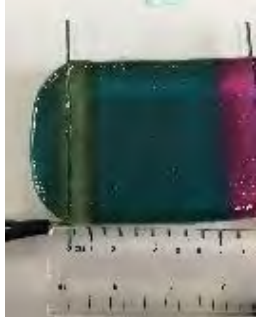
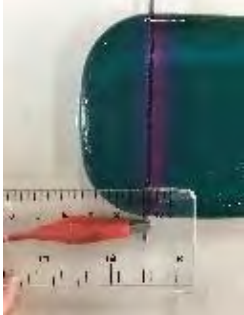
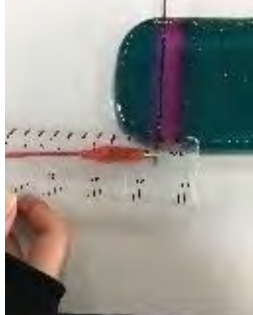
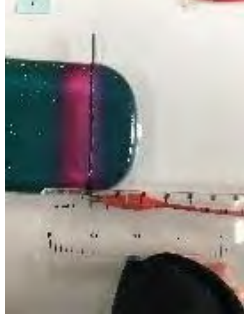
表二：3g 蝶豆花加入 100 毫升的水，浸泡時間 5 分鐘，施予電壓 10 伏特之情形

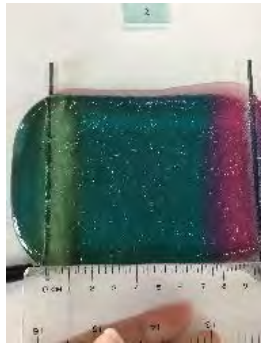
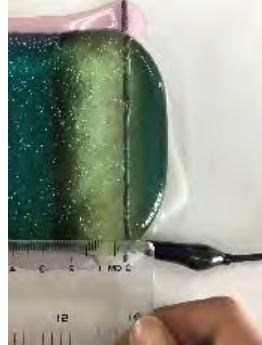

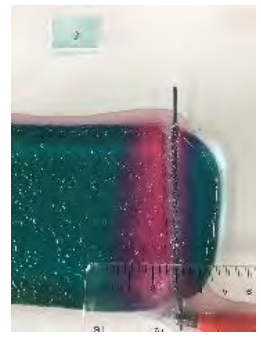


| 電解反應時間 | 10 分鐘 | 20 分鐘 | 30 分鐘 |
|--------|---|--|---|
| 電源負極處 |  |  |  |



| | | | |
|-------|---|--|---|
| 電源正極處 |  |  |  |
|-------|---|--|---|

二、各變因間之關係：

(一) 改變兩電極電壓差，量測蝶豆花果凍內粒子移動距離與時間之關係

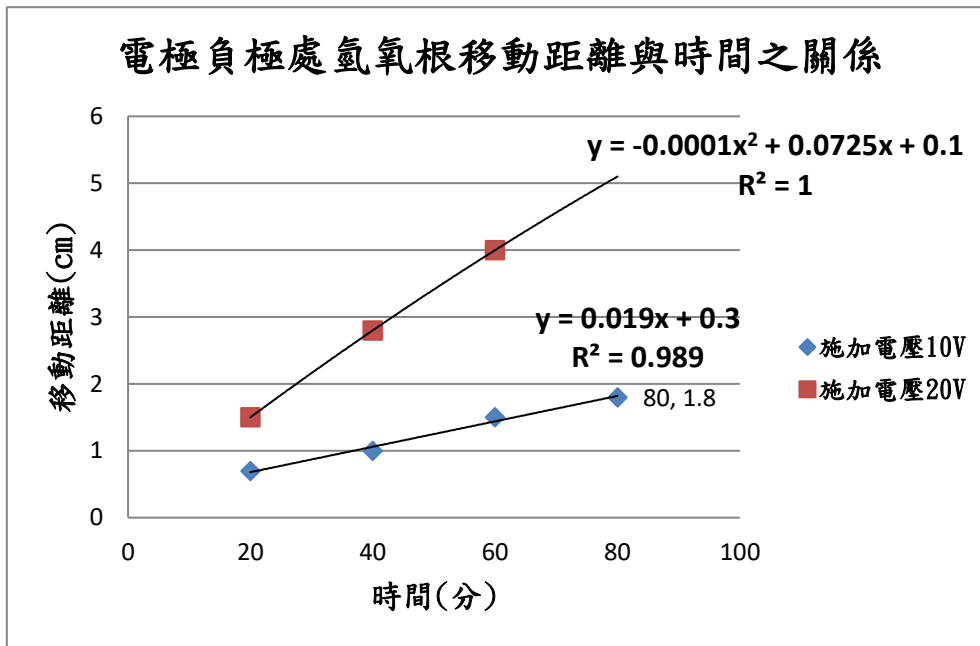
| 表三:兩極電壓 10 伏特 | | | |
|---------------|---|--|---|
| 電解反應時間 | 20 分鐘 | 40 分鐘 | 60 分鐘 |
| 電源負極處 |  |  |  |
| 電源正極處 |  |  |  |

| 表四:兩極電壓 20 伏特 | | | |
|---------------|--|---|--|
| 電解反應時間 | 20 分鐘 | 40 分鐘 | 60 分鐘 |
| 電源負極處 |  |  |  |
| 電源正極處 |  |  |  |

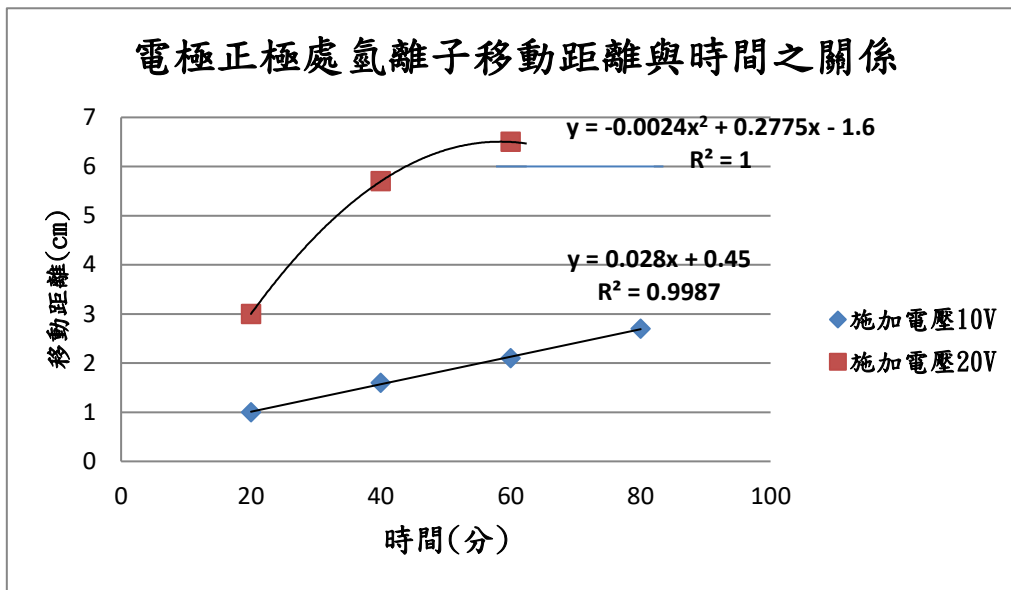
| 表五:兩極電壓 50 伏特 | | |
|---------------|---|---|
| 電解反應時間 | 電源負極處離子移動情形 | 電源正極處離子移動情形 |
| 20 分鐘 |  |  |
| 40 分鐘 | 到了 20 分鐘後，融化持續，電極無法固定，故不再紀錄。 | |
| 60 分鐘 | 到了 20 分鐘後，融化持續，電極無法固定，故不再紀錄。 | |

表六: 改變兩電極電壓差的量測結果

| 兩極電壓 10 伏特 | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|-------|
| 施加電壓時間 | 20 分鐘 | 40 分鐘 | 60 分鐘 | 80 分鐘 |
| 負極處顏色移動距離(cm) | 0.7 | 1 | 1.5 | 1.8 |
| 正極處顏色移動距離(cm) | 1 | 1.6 | 2.1 | 2.7 |
| 兩極電壓 20 伏特 | | | | |
| 施加電壓時間 | 20 分鐘 | 40 分鐘 | 60 分鐘 | 80 分鐘 |
| 負極處顏色移動距離(cm) | 1.5 | 2.8 | 4 | |
| 正極處顏色移動距離(cm) | 3 | 5.7 | 6.5 | |
| 兩極電壓 50 伏特 | | | | |
| 施加電壓時間 | 20 分鐘 | 40 分鐘 | 60 分鐘 | 80 分鐘 |
| 負極處顏色移動距離(cm) | 3 | | | |
| 正極處顏色移動距離(cm) | 5.8 | | | |

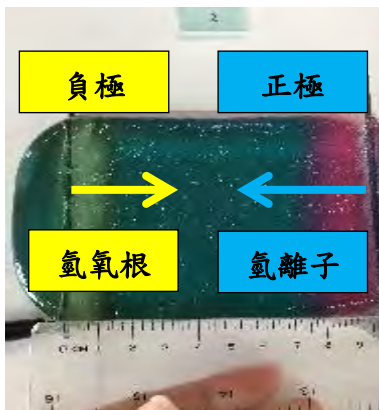


圖三:電極負極處氫氧根移動距離與時間之關係



圖四:電極正極處氫離子移動距離與時間之關係

施予電壓於蝶豆花果凍兩側，蝶豆花內之水因電解，產生之氫離子與氫氧根離子，這兩種離子在外加電場的作用下，會產生電泳，正極反應為 $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{e}^- + 4\text{H}^+$ ，負極反應為 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ 。請參考圖五，由於蝶豆花內部之花青素會因為酸鹼程度而呈現不同的顏色(酸性呈現紅色、鹼性則為藍綠色)，正極產生的氫離子(H^+)會在蝶豆花內部呈現紅色，受蝶豆花果凍內部之電場驅動而往負極方向移動；同理，負極產生的氫氧離子(OH^-)會在蝶豆花內部呈現藍綠色，受蝶豆花果凍內部之電場驅動而往正極方向移動。



於本部分實驗中，控制蝶豆花置備之濃度與兩電極距離(12公分)，調整兩電極之電壓差，得到如表六之實驗結果，應分別繪製成圖三、圖四。

由圖三、圖四的結果，可以再整理成表七，其中電場 E 計算方式為 $E = \frac{\text{兩電極電位差(伏特)}}{\text{兩電極距離(公尺)}}$ ，由此公式可以得到，當兩極距離為 12cm，分別施加 10V 與 20V，則兩電極於蝶豆花內部產生的電場分別為 83V/m、166V/m。

圖五:蝶豆花內氫離子與氫氧根移動方向

表七:離子於兩極的移動情形(依據圖三至圖四整理)

| 氫氧根於負極之移動情形 | | | |
|-------------|----------------------------------|---------------|-----------------------------|
| 電場值(V/m) | 移動距離與於時間關係 | 移動初速度(cm/min) | 移動加速度(cm/min ²) |
| 166 | $y = -0.0001x^2 + 0.0725x + 0.1$ | 0.0725 | -0.0002 |
| 83 | $y = 0.019x + 0.3$ | 0.019 | 0 |
| 氫離子於正極之移動情形 | | | |
| 電場值(V/m) | 移動距離與於時間關係 | 移動初速度(cm/min) | 移動加速度(cm/min ²) |
| 166 | $y = -0.0024x^2 + 0.2775x - 1.6$ | 0.2775 | -0.0048 |
| 83 | $y = 0.028x + 0.45$ | 0.028 | 0 |

表七之數據計算方式如下：

以圖三為例，氫氧根於負極之移動距離與時間的關係，於電場值 166V/m 時經過趨勢線分析為 $y = -0.0001x^2 + 0.0725x + 0.1$ ，其中 y 為移動距離，x 為時間，對此函數關係做一次微分，

$\frac{dy}{dx} = -0.0002x + 0.0725$ ，可以得到移動速度為 $-0.0002x + 0.0725$ ，當時間 $x=0$ 時，速度為 0.0725(cm/min)，



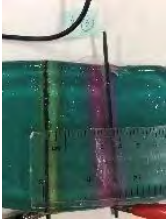







此即為移動之初速度，對此函數關係做二次微分， $\frac{d^2y}{dx^2} = -0.0002$ ，可以得到加速度為

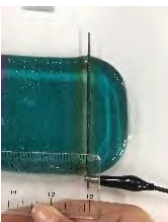




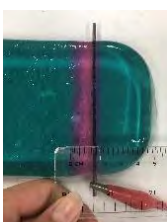



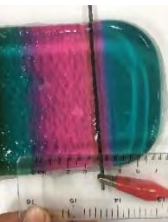
$-0.0002(\text{cm}/\text{min}^2)$ 。而於電場值 83V/m 時，同樣透過趨勢線分析，可以得到氫氧根的移動初速度為 0.019(cm/min)且加速度為 0(cm/min²)。而我們對於氫離子於正極之移動距離與時間的關係做同樣的分析。





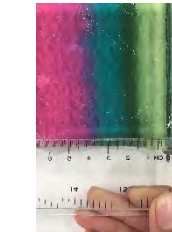
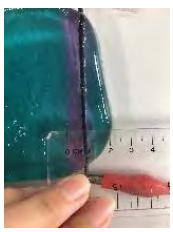
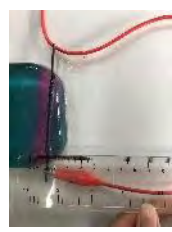
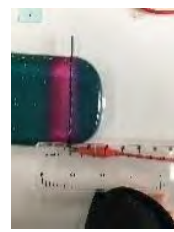


對於本部分所得到的結果，我們做以下討論：

- 1、於高電場時(E=166V/m)，氫離子與氫氧根離子為「負向等加速度運動」，而於低電場(E=83V/m)時，離子為「等速度運動」。推測可能原因是當離子在蝶豆花內部移動時，同時受到電場對離子產生的作用力與離子在未摻雜雜質蝶豆花內部移動產生的摩擦力阻力。於低電場時，電場對離子產生的作用力約等於離子在蝶豆花內部移動產生的摩擦力，因此離子以等速度前進。而在高電場時，推測由於離子具有較高的能量(電位能)，因此離子移動不均勻的情形較低電場的情形明顯，因此還要另外考慮濃度不均產生的濃度梯度效應，當前方離子濃度較高，反而會抑制離子繼續往前進，因此離子的運動情形為「負向等加速度運動」。
- 2、於高電場情形時，氫離子的「負向等加速度運動」為 $-0.0048(\text{cm}/\text{min}^2)$ ，而氫氧根為 $-0.0002(\text{cm}/\text{min}^2)$ ，推測可能原因是 H^+ 與 OH^- 所帶電量相同，在電位差相同時，具有相同的電位能，但由於質量不同(H^+ 小於 OH^-)，因此電位能轉換成動能時，移動的速度不同，(H^+ 大於於 OH^-)，速度愈大愈可能有濃度不均的現象產生，因此氫離子的「負向等加速度運動」的加速度值較大。
- 3、於低電場情形，氫離子的「初速度」為 0.028 (cm/min²)，而氫氧根為 0.019 (cm/min²)，假設蝶豆花於剛開始通電瞬間(Δt ，且 Δt 很小)，摩擦力可忽略不計，則由牛頓第二運動定律， $F \times \Delta t = m \times \Delta V$ ，此情形電力 F 相同，且若假設 Δt 相同，則由於氫離子質量較小，因此獲得較大的速度。進一步分析氫離子與氫氧根質量比值約為 $\frac{1}{17}$ ，但初速比值非為 17，可見 Δt 還是有所差異，也可能和離子形狀有關。

(二) 改變兩電極距離，探討蝶豆花果凍內粒子移動距離與時間之關係

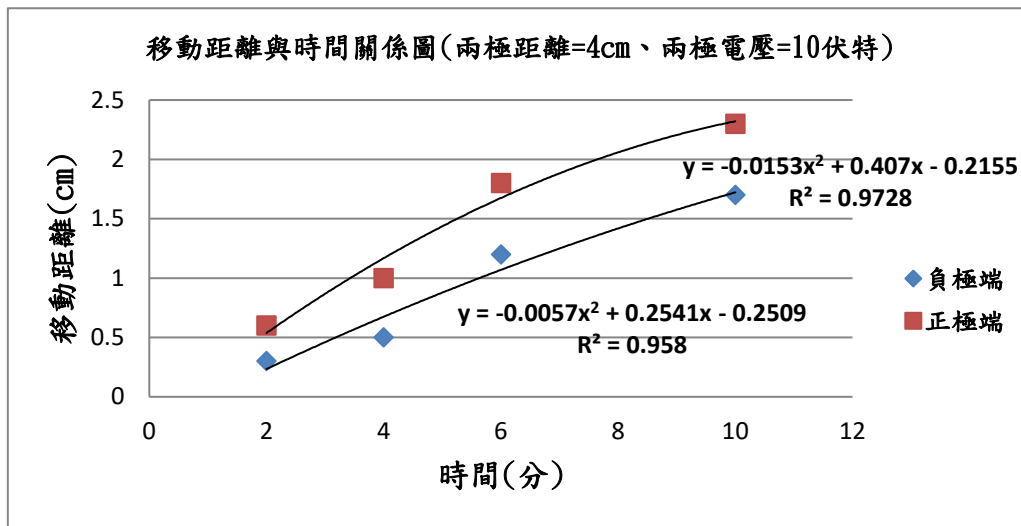
| 表八:兩電極間距離 4cm | | | | | |
|---------------|---|---|---|---|---|
| 電解反應時間 | 2 分鐘 | 4 分鐘 | 6 分鐘 | 8 分鐘 | 10 分鐘 |
| 電源負極處 |  |  |  |  |  |
| 電源正極處 |  |  |  |  |  |

| 表九:兩電極間距離 8cm | | | | | |
|---------------|---|---|---|---|---|
| 電解反應時間 | 10 分鐘 | 20 分鐘 | 30 分鐘 | 40 分鐘 | 50 分鐘 |
| 電源負極處 |  |  |  |  |  |
| 電源正極處 |  |  |  |  |  |

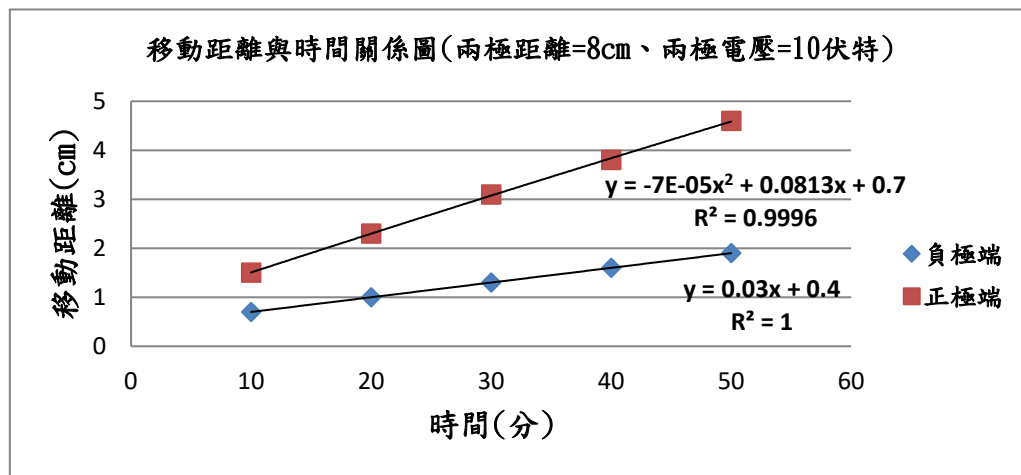
| 表十:兩電極間距離 12cm | | | | | |
|----------------|---|---|---|--|---|
| 電解反應時間 | 10 分鐘 | 20 分鐘 | 30 分鐘 | 40 分鐘 | 50 分鐘 |
| 電源負極處 |  |  |  |  |  |
| 電源正極處 |  |  |  |  |  |

表十一:電極距離與離子於兩極移動距離之量測結果

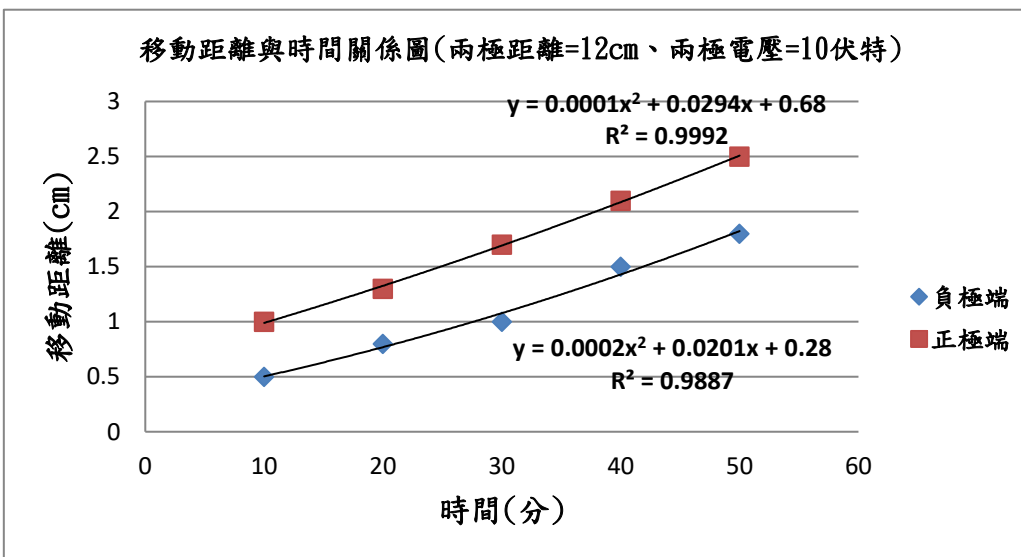
| 兩極電壓距離 4cm | | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 施加電壓時間 | 2 分鐘 | 4 分鐘 | 6 分鐘 | 10 分鐘 | |
| 負極處顏色移動距離(cm) | 0.3 | 0.5 | 1.2 | 1.7 | |
| 正極處顏色移動距離(cm) | 0.6 | 1.0 | 1.8 | 2.3 | |
| 兩極電壓距離 8cm | | | | | |
| 施加電壓時間 | 10 分鐘 | 20 分鐘 | 30 分鐘 | 40 分鐘 | 50 分鐘 |
| 負極處顏色移動距離(cm) | 0.7 | 1.0 | 1.3 | 1.6 | 1.9 |
| 正極處顏色移動距離(cm) | 1.5 | 2.3 | 3.1 | 3.8 | 4.6 |
| 兩極電壓距離 12cm | | | | | |
| 施加電壓時間 | 10 分鐘 | 20 分鐘 | 30 分鐘 | 40 分鐘 | 50 分鐘 |
| 負極處顏色移動距離(cm) | 0.5 | 0.8 | 1.0 | 1.5 | 1.8 |
| 正極處顏色移動距離(cm) | 1.0 | 1.3 | 1.7 | 2.1 | 2.5 |



圖六：移動距離與時間關係圖(兩極距離=4cm、兩極電壓=10伏特)



圖七：移動距離與時間關係圖(兩極距離=8cm、兩極電壓=10伏特)



圖八：移動距離與時間關係圖(兩極距離=12cm、兩極電壓=10伏特)

表十二：離子於兩電極之移動情形(依據圖六至圖八整理)

| 氫氧根於負極之移動情形 | | | |
|-------------|--|---------------|-----------------------------|
| 電場值(V/m) | 移動長度與時間關係 | 移動初速度(cm/min) | 移動加速度(cm/min ²) |
| 250 | $y = -0.0057x^2 + 0.2541x - 0.2509$ | 0.2541 | -0.0114 |
| 125 | $y = 0.03x + 0.4$ | 0.03 | ≈ 0 |
| 83 | $y = 0.0002x^2 + 0.0201x + 0.28$ | 0.0201 | ≈ 0 |
| 氫離子於正極之移動情形 | | | |
| 電場值(V/m) | 移動長度與時間關係 | 移動初速度(cm/min) | 移動加速度(cm/min ²) |
| 250 | $y = -0.0153x^2 + 0.407x - 0.2155$ | 0.407 | -0.0306 |
| 125 | $y = -7 \times 10^{-5}x^2 + 0.0813x + 0.7$ | 0.0803 | ≈ 0 |
| 83 | $y = 0.0001x^2 + 0.0294x + 0.68$ | 0.0294 | ≈ 0 |

對於本部分所得到的結果，我們做以下討論：

- 1、綜合第十三頁的討論與表十二，我們可以推測高電場與低電場的臨界約為 125(V/m)，大於此電場值，離子做負向等加速度運動，小於此電場時，離子做等速度運動。
- 2、綜合表七的討論與表十二，於高電場之情形，當電場愈大，負向等加速度運動之量值愈大，以氫氧根於負極之移動情形為例，當電場值為 166(V/m)，負向等加速度值為-0.0114 (cm/min²)，當電場值為 250(V/m)，負向等加速度值為-0.0002(cm/min²)，可以驗證我們的推測，當離子獲得較大能量，速度較大(當電場值為 166(V/m)，移動初速度為 0.0725 (cm/min)，當電場值為 250(V/m)，移動初速度為 0.2451(cm/min))，而速度較大代表離子分布不均產生濃度梯度的現象更明顯，因此負向加速度量值較大。

3、表七與表十二相較，於低電場(E=83V/m)時，透過改變電壓以及改變電極距離兩種分法所得到的氫氧根於負極之移動初速度誤差值為 $\frac{|0.0201-0.019|}{0.019} \times 100\% = 5.7\%$ ，氫離子於正極之移

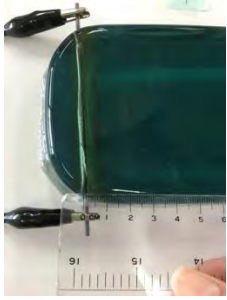
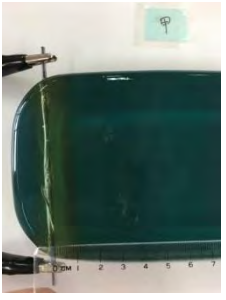
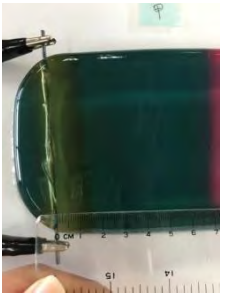
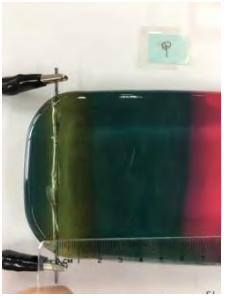
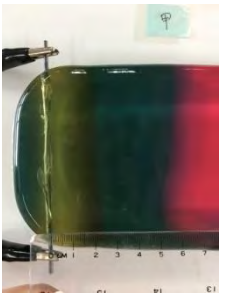
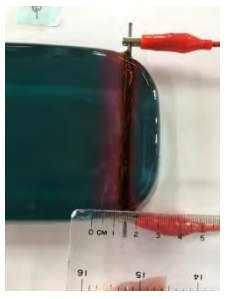
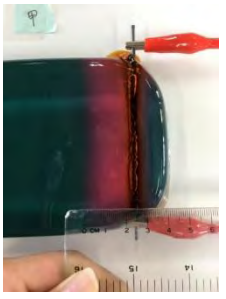
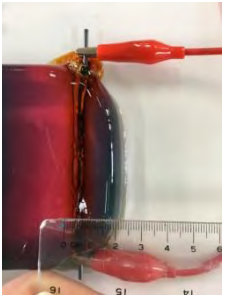
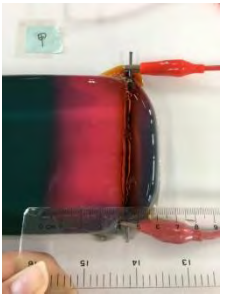
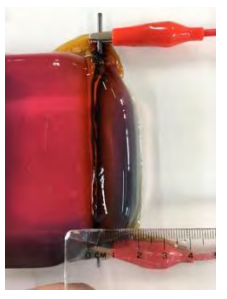
動初速度誤差值為 $\frac{|0.0294-0.028|}{0.028} \times 100\% = 5.0\%$ 。

4、表七與表十二相較，於低電場(E=83V/m)時，氫離子與氫氧根離子移動速度比值分別為

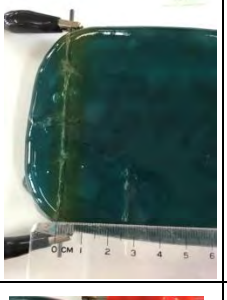
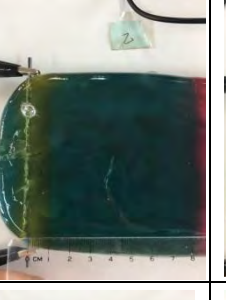

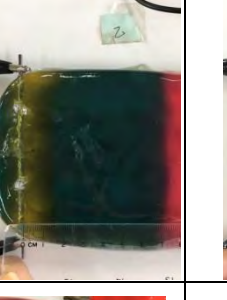
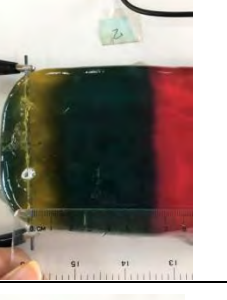
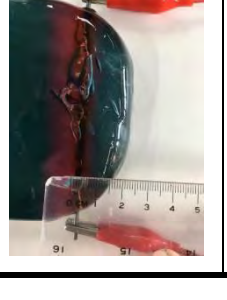

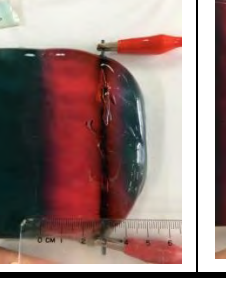
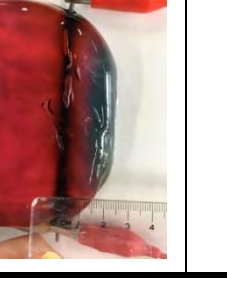

$$\frac{0.019}{0.028}=0.68、\frac{0.0201}{0.0294}=0.68，兩者相近。$$

(三) 改變碘化鉀濃度，探討加入碘化鉀之蝶豆花果凍內粒子移動距離與時間之關係

表十三: 碘化鉀重量百分濃度 2.5%

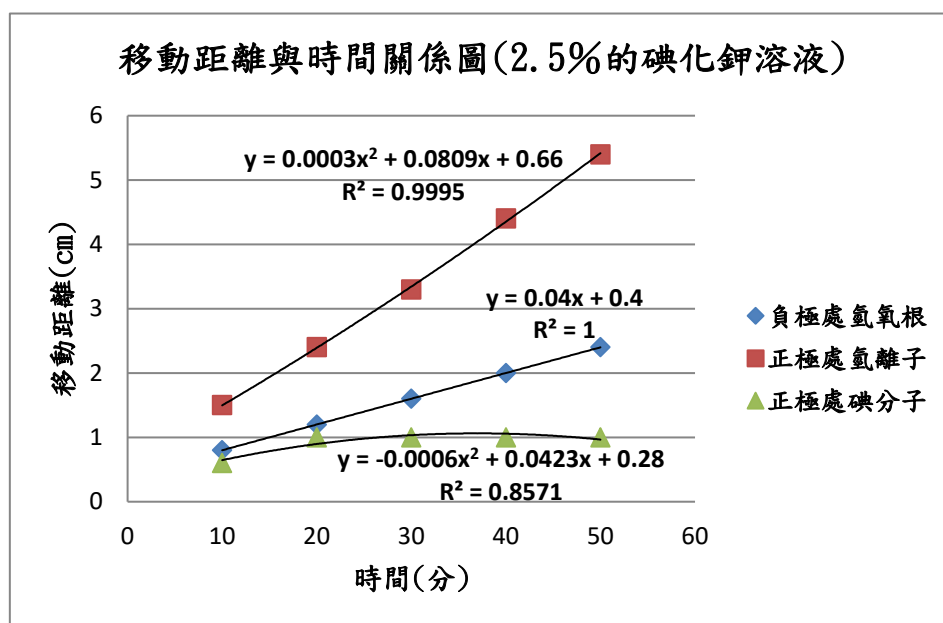
| 電解反應時間 | 10 分鐘 | 20 分鐘 | 30 分鐘 | 40 分鐘 | 50 分鐘 |
|--------|--|--|---|--|--|
| 電源負極處 |  |  |  |  |  |
| 電源正極處 |  |  |  |  |  |

表十四: 碘化鉀重量百分濃度 5%

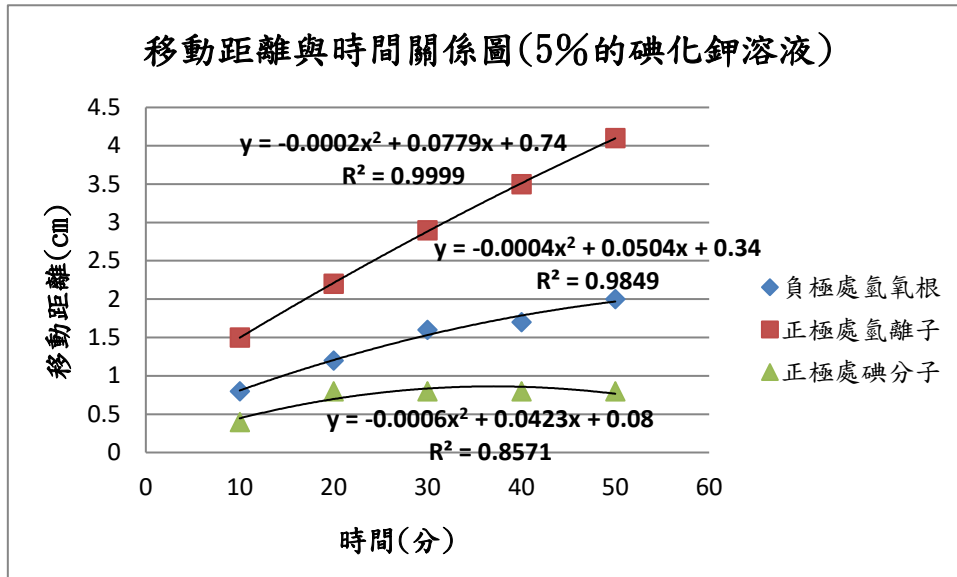
| 電解反應時間 | 10 分鐘 | 20 分鐘 | 30 分鐘 | 40 分鐘 | 50 分鐘 |
|--------|---|---|--|---|---|
| 電源負極處 |  |  |  |  |  |
| 電源正極處 |  |  |  |  |  |

表十五:離子與分子於含 2.5%與 5%的碘化鉀的蝶豆花內部移動距離量測結果

| 電壓 10 伏特、2.5%的碘化鉀溶液 | | | | | |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 施加電壓時間 | 10 分鐘 | 20 分鐘 | 30 分鐘 | 40 分鐘 | 50 分鐘 |
| 負極處氫氧根移動距離(cm) | 0.8 | 1.2 | 1.6 | 2.0 | 2.4 |
| 正極處氫離子移動距離(cm) | 1.5 | 2.4 | 3.3 | 4.1 | 4.9 |
| 正極處碘分子移動距離(cm) | 0.6 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 電壓 10 伏特、5%的碘化鉀溶液 | | | | | |
| 施加電壓時間 | 10 分鐘 | 20 分鐘 | 30 分鐘 | 40 分鐘 | 50 分鐘 |
| 負極處氫氧根移動距離(cm) | 0.8 | 1.2 | 1.5 | 1.6 | 2 |
| 正極處氫離子移動距離(cm) | 1.5 | 2.2 | 2.9 | 3.5 | 4.1 |
| 正極處碘分子移動距離(cm) | 0.4 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |



圖九：移動距離與時間關係圖(2.5%的碘化鉀溶液)



圖十：移動距離與時間關係圖(5%的碘化鉀溶液)

表十六:離子與分子於正負兩極之移動情形(依據圖九至圖十整理)

| 氫氧根於負極之移動情形(電場值=83V/m) | | | |
|------------------------|-----------------------------------|---------------|-----------------------------|
| 碘化鉀濃度 | 移動距離與時間關係 | 移動初速度(cm/min) | 移動加速度(cm/min ²) |
| 2.5% | $y=0.04x + 0.4$ | 0.04 | 0 |
| 5% | $y = -0.0001x^2 + 0.0366x + 0.48$ | 0.0366 | -0.0002 |
| 氫離子於正極之移動情形(電場值=83V/m) | | | |
| 碘化鉀濃度 | 移動距離與時間關係 | 移動初速度(cm/min) | 移動加速度(cm/min ²) |
| 2.5% | $y = -0.0002x^2 + 0.0979x + 0.54$ | 0.0979 | -0.0004 |
| 5% | $y = -0.0002x^2 + 0.0779x + 0.74$ | 0.0779 | -0.0004 |
| 碘離子於正極之移動情形(電場值=83V/m) | | | |
| 碘化鉀濃度 | 移動距離與時間關係 | 移動初速度(cm/min) | 移動加速度(cm/min ²) |
| 2.5% | $y = -0.0006x^2 + 0.0423x + 0.28$ | 0.0423 | -0.0012 |
| 5% | $y = -0.0006x^2 + 0.0423x + 0.08$ | 0.0423 | -0.0012 |

碘離子在正極電極的反應式為 $2I^- \rightarrow I_2 + 2e^-$ ，無色的 I^- 在負極氧化為褐色的 I_2 ，使 I_2 濃度在負極處的濃度最高，產生濃度梯度，因此可以觀測負極褐色物質 I_2 的擴散現象。另外，本部分實驗與純粹以蝶豆花製成的膠體果凍不同，加入碘化鉀等於加入雜質，也使得蝶豆花本身粒子排列更為混亂，增加了摩擦力作用。

對於本部分所得到的結果，我們做以下討論：

- 1、由表七的討論，氫離子低電場下本應為等速度運動，但此時受到碘化鉀雜質的影響，產生雜質散射，使氫離子在蝶豆花內部運動所受阻增加，因此由表十六可以得到加入碘化鉀，


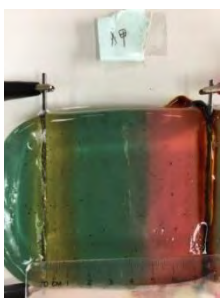
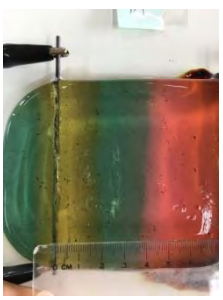

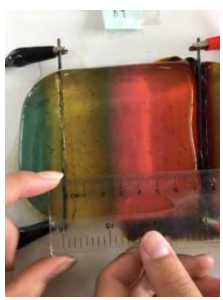
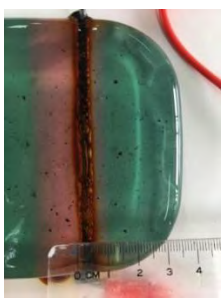
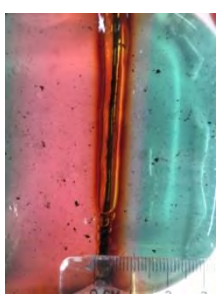
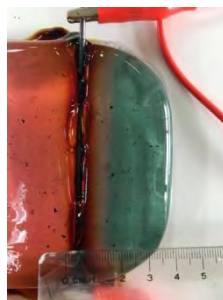
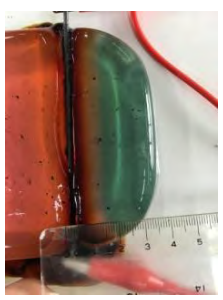
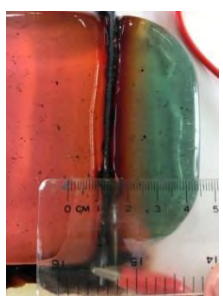
移動加速度為負值 $-0.0004 \text{ (cm/min}^2)$ ，且碘化鉀濃度愈高由 2.5% 提升至 5%，氫離子移動初速度由 0.0979 (cm/min) 降至 0.0779 (cm/min)

2、由表七的討論，氫氧根離子低電場下應為等速度運動，於碘化鉀濃度為 2.5% 也是如此(請參考表十六)，推測原因是氫氧根較氫離子質量大，因此當碰撞到雜質時，能量的轉移較小，也因此仍維持等速度運動，但當碘化鉀濃度提升至 5%，移動加速度為負值 $-0.0002 \text{ (cm/min}^2)$ ，且碘化鉀濃度愈高由 2.5% 提升至 5%，氫氧根離子移動初速度由 0.04 (cm/min) 降至 0.0366 (cm/min) 。

3、參考表十六，碘分子不帶電，因此在蝶豆花雖受到濃度梯度向前進(電極處濃度最高)，在蝶豆花內部僅受摩擦力作用，雖然質量遠較氫離子、氫氧根離子為大，但移動加速度為負值 $-0.0012 \text{ (cm/min}^2)$ ，顯著大於受到電力影響的氫離子、氫氧根離子。

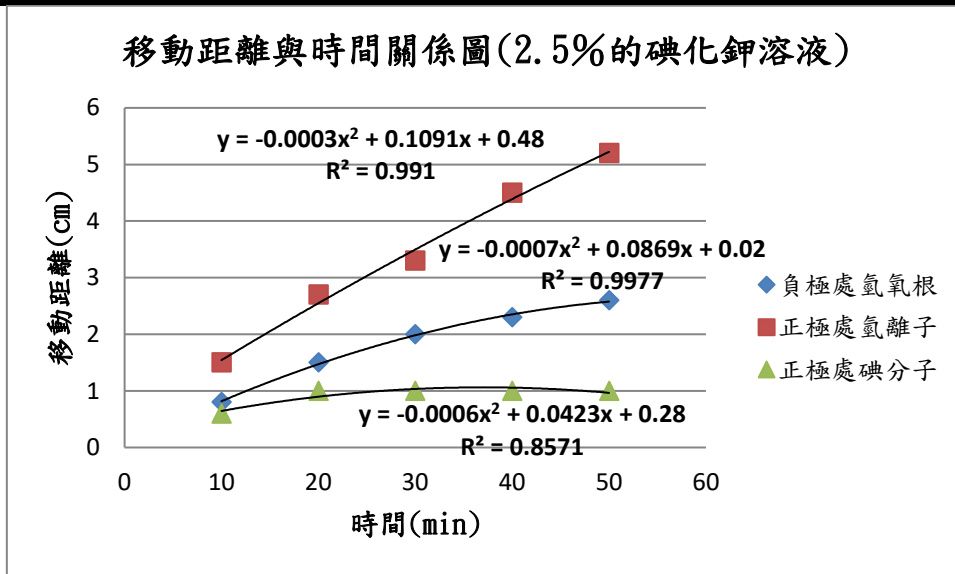
(四) 改變電極間距離，探討加入碘化鉀之蝶豆花果凍內粒子移動距離與時間之關係

表十七: 碘化鉀重量百分濃度 2.5%、兩電極距離 8 公分

| 電解反應時間 | 10 分鐘 | 20 分鐘 | 30 分鐘 | 40 分鐘 | 50 分鐘 |
|--------|---|---|--|---|---|
| 電源負極處 |  |  |  |  |  |
| 電源正極處 |  |  |  |  |  |

表十八:離子與分子於含 2.5%的碘化鉀蝶豆花內部移動距離之測量結果

| 電壓 10 伏特、2.5%的碘化鉀溶液 | | | | | |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 施加電壓時間 | 10 分鐘 | 20 分鐘 | 30 分鐘 | 40 分鐘 | 50 分鐘 |
| 負極處氫氧根移動距離(cm) | 0.8 | 1.5 | 2 | 2.3 | 2.6 |
| 正極處氫離子移動距離(cm) | 1.5 | 2.7 | 3.3 | 4.5 | 5.2 |
| 正極處碘分子移動距離(cm) | 0.6 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |



圖十一：移動距離與時間關係圖(2.5%的碘化鉀溶液)

表十九: 離子與分子於正負兩極之移動情形(依據圖十一整理)

| 氫氧根於負極之移動情形(電場值=125V/m) | | | |
|-------------------------|-----------------------------------|---------------|-----------------------------|
| 碘化鉀濃度 | 移動距離與時間關係 | 移動初速度(cm/min) | 移動加速度(cm/min ²) |
| 2.5% | $y = -0.0007x^2 + 0.0869x + 0.02$ | 0.00869 | -0.0014 |
| 氫離子於正極之移動情形(電場值=125V/m) | | | |
| 碘化鉀濃度 | 移動距離與時間關係 | 移動初速度(cm/min) | 移動加速度(cm/min ²) |
| 2.5% | $y = -0.0003x^2 + 0.1091x + 0.48$ | 0.1091 | -0.0006 |
| 碘離子於正極之移動情形(電場值=125V/m) | | | |
| 碘化鉀濃度 | 移動距離與時間關係 | 移動初速度(cm/min) | 移動加速度(cm/min ²) |
| 2.5% | $y = -0.0006x^2 + 0.0423x + 0.28$ | 0.0423 | -0.0012 |

將電極間距由 12cm 調整至 8 公分，使電場強度增加為 125V/m，進入高電場狀態。

對於本部分所得到的結果，我們做以下討論：

1、表十九與表七低電場下(電場值=83V/m)比較，於高電場時，氫離子除受碘化鉀雜質的影響，產生雜質散射，使其在蝶豆花內部運動所受阻力增加，加上因為高電場而使濃度梯度產生，因此，移動加速度為由-0.0004 (cm/min²)變為-0.0006 (cm/min²)。

2、表十九與表七低電場下(電場值=83V/m)比較，於高電場時，氫氧根離子除受到碘化鉀雜質

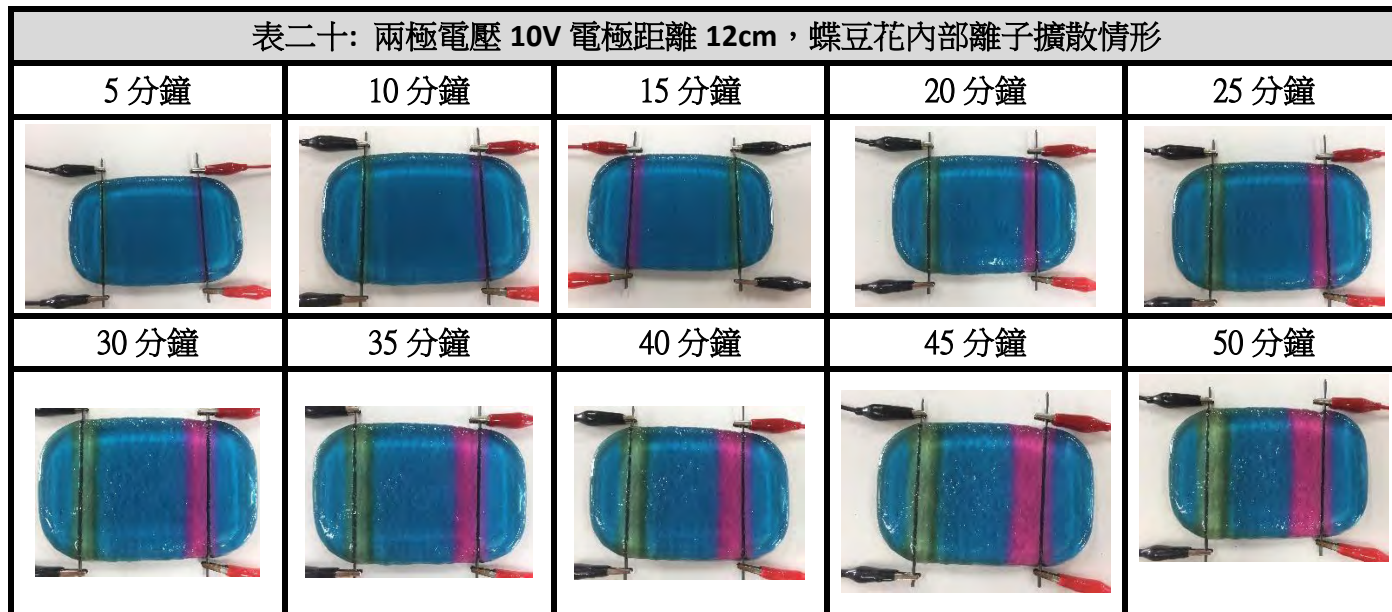
的影響，產生雜質散射，使其在蝶豆花內部運動所受阻力增加，加上因為高電場而使濃度梯度產生，因此，移動加速度為由 0 (cm/min²)變為-0.0014 (cm/min²)。

3、表十九與表七低電場下(電場值=83V/m)比較，於高電場時，碘分子不帶電，不受外界之電壓影響，因此在移動加速度為負值-0.0012 (cm/min²)，與低電場情形幾乎相同。

(五) 計算離子於蝶豆花內部之遷移率(Mobility)

將蝶豆花施加 10V 的電壓，並每隔 5 分鐘量測兩極內側之離子移動距離以及電極外側之離子移動距離

表二十: 兩極電壓 10V 電極距離 12cm，蝶豆花內部離子擴散情形

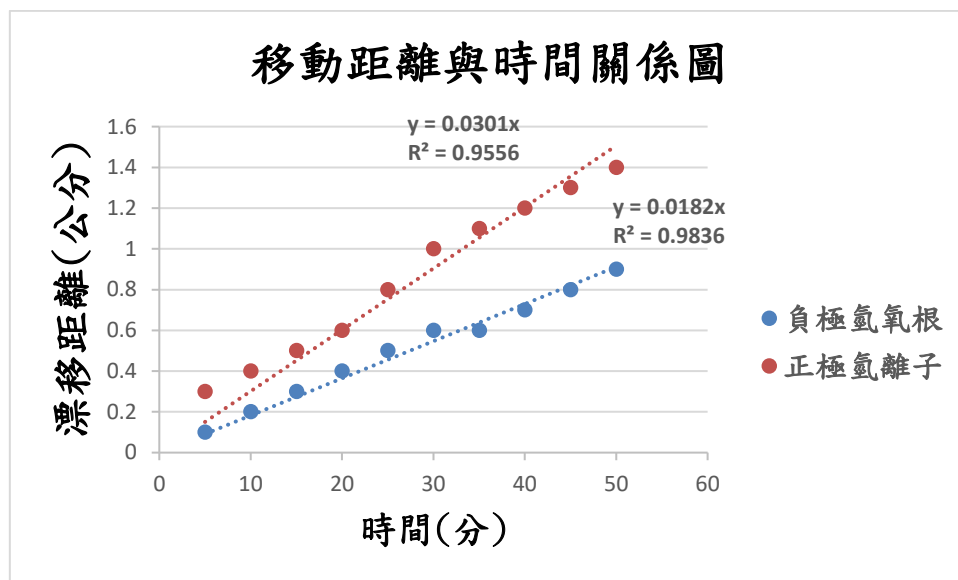


表二十一為蝶豆花於電解後，兩電極內外側離子移動距離之數據，其中負極處為氫氧根離子之移動距離，正極處為氫離子之移動距離。電極內側之離子移動之情形同時受到電場作用，以及擴散現象之影響，而電極外側之離子移動僅受到擴散現象之影響，故若將內側離子移動距離扣除外側離子移動距離，可以得到電極內側為離子僅受到電場作用下之漂移距離。因此我們可以将離子的移動區分為僅受到電場影響之漂移距離，以及僅受到擴散現象影響之擴散距離，將結果整理為表二十二。

表二十一:兩極電壓 10V 電極距離 12cm，蝶豆花內部離子移動距離

| 施加電壓時間 移動距離 | 5 分鐘 | 10 分鐘 | 15 分鐘 | 20 分鐘 | 25 分鐘 | 30 分鐘 | 35 分鐘 | 40 分鐘 | 45 分鐘 | 50 分鐘 |
|---------------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 負極處內側顏色 移動距離(cm) | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.4 | 1.6 | 1.7 |
| 負極處外側顏色 移動距離(cm) | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |
| 正極處內側顏色 移動距離(cm) | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 1.1 | 1.3 | 1.5 | 1.7 | 1.9 | 2.1 | 2.3 |
| 正極處外側顏色 移動距離(cm) | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |

| 表二十二:兩極電壓 10V 電極距離 12cm，蝶豆花內部離子漂移距離與擴散距離 | | | | | | | | | | |
|--|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 施加電壓時間 移動距離 | 5 分鐘 | 10 分鐘 | 15 分鐘 | 20 分鐘 | 25 分鐘 | 30 分鐘 | 35 分鐘 | 40 分鐘 | 45 分鐘 | 50 分鐘 |
| 負極處內側顏色 漂移距離(cm) | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.8 |
| 負極處外側顏色 擴散距離(cm) | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |
| 正極處內側顏色 漂移距離(cm) | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 |
| 正極處外側顏色 擴散距離(cm) | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |



圖十二：漂移距離與時間關係圖(外接電壓 10V)

將電極內側離子的漂移距離與時間繪製成圖十二，可以發現氫氧根與氫離子的漂移距離與時間約略呈正比關係，所得迴歸直線的斜率即為漂移速度。

帶電粒子在電場作用下的運動符合 $J=nqv=nq\mu E$ ，其中 J 為電流密度， n 為單位體積離子數目， q 為離子帶電量， v 為漂移速度， μ 為遷移率， E 則為電場強度。其中 $\mu = \frac{q\tau}{m}$ ， τ 為離子加速時間， m 為帶電離子之質量。

我們由上述關係式可以得到氫氧根與氫離子在電場作用下的遷移率，其計算過程如下：

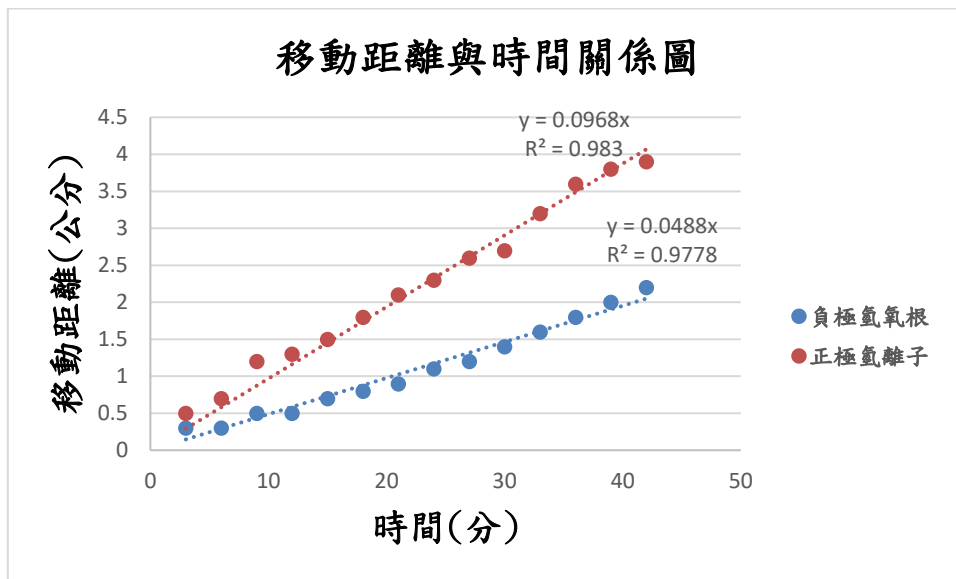
氫離子的漂移速度為 $v=0.0301\text{cm/s}$ ，電場為 0.833V/cm ，故遷移率 μ 為 $\frac{V}{E} = \frac{0.0301}{0.833} \text{ cm}^2/\text{vs} = 0.036 \text{ cm}^2/\text{vs}$ 。氫氧根的漂移速度為 $v=0.0182\text{cm/s}$ ，電場為 0.833V/cm ，故遷移率 μ 為 $\frac{V}{E} = \frac{0.0182}{0.833} \text{ cm}^2/\text{vs}$

$$=0.022 \text{ cm}^2/\text{vs}$$

同理，參考圖十三，當電極電壓為 20V 時，氫離子的漂移速度為 $v=0.0968\text{cm/s}$ ，電場為 1.666V/cm ，

故遷移率 μ 為 $\frac{v}{E} = \frac{0.0968}{1.666} \text{ cm}^2/\text{vs} = 0.058\text{cm}^2/\text{vs}$ 。氫氧根的漂移速度為 $v=0.0488\text{cm/s}$ ，電場為

1.666V/cm ，故遷移率 μ 為 $\frac{v}{E} = \frac{0.0488}{1.666} \text{ cm}^2/\text{vs} = 0.029 \text{ cm}^2/\text{vs}$ ，與氫離子相較，氫氧根之遷移率較不受外加電場所影響，推論原因是氫氧根離子質量較大，速度變化量較小，因此被加速時間 τ 也變化量也較少，故遷移率影響不大。



圖十三：漂移距離與時間關係圖(外接電壓 20V)

陸、討論

一、回應研究目的

表二十四:本研究結果彙整(此處摩擦力指的是欲測量粒子在未摻雜質蝶豆花內部所遇阻力)

| 離子或分子 | 電場 (V/m) | 摻雜雜質 | 運動情形 | 受力來源 (標記綠色、紅色產生之力方向相反) |
|-------|-------------|---------|--------|---------------------------|
| 氫離子 | 低電場 <125 | 無 | 等速度運動 | 電力、摩擦力 |
| | | 2.5%碘化鉀 | 負向等加速度 | 電力、摩擦力、雜質散射 |
| | | 5.0%碘化鉀 | 負向等加速度 | 電力、摩擦力、雜質散射 |
| | | 5.0%硫酸鋅 | 負向等加速度 | 電力、摩擦力、雜質散射 |
| | | 7.5%硫酸鋅 | 負向等加速度 | 電力、摩擦力、雜質散射 |
| | 高電場 >125 | 無 | 負向等加速度 | 電力、摩擦力、濃度梯度 |
| | | 2.5%碘化鉀 | 負向等加速度 | 電力、摩擦力、雜質散射、濃度梯度 |
| 碘分子 | 低電場 <125 | 2.5%碘化鉀 | 負向等加速度 | 濃度梯度、摩擦力、雜質散射 |
| | | 5.0%碘化鉀 | 負向等加速度 | 濃度梯度、摩擦力、雜質散射 |
| | 高電場 >125 | 2.5%碘化鉀 | 負向等加速度 | 濃度梯度、摩擦力、雜質散射 |
| 氫氧根離子 | 低電場 <125 | 無 | 等速度運動 | 電力、摩擦力 |
| | | 2.5%碘化鉀 | 等速度運動 | 電力、摩擦力、雜質散射(影響小) |
| | | 5.0%碘化鉀 | 負向等加速度 | 電力、摩擦力、雜質散射(影響大) |
| | 高電場 >125 | 無 | 負向等加速度 | 電力、摩擦力、濃度梯度 |
| | | 2.5%碘化鉀 | 負向等加速度 | 電力、摩擦力、雜質散射、濃度梯度 |

二、檢討研究過程

(一)實驗誤差分析

除了人為計時或量測產生的誤差以外，本實驗未考量到電流熱效應造成的影響，此效應早成的影響有以下三點：

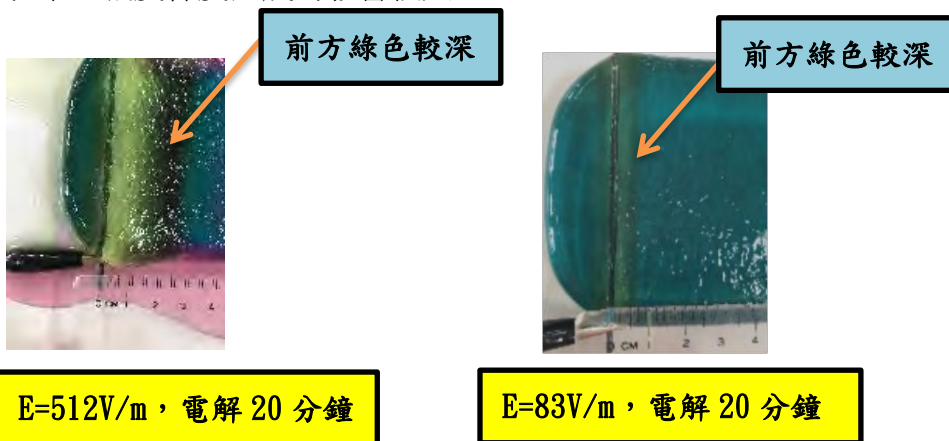
- (1)溫度影響到帶電離子或不帶電分子的運動速率，可預期若溫度提升，粒子的移動速率會提高
- (2)而蝶豆花膠體因熱本身也有液化的現象，使膠體本身粒子的排列方式發生改變，也同時影響到帶電離子或分子在蝶豆花膠體內部的移動情形。
- (3)兩極端的石墨電極會隨著通電的時間增加而而斷裂，斷裂處將導致斷路，使電壓無法施加於其上，進而影響到量測精準度，造成實驗誤差。

(二)研究改良過程

- (1)針對，兩極端的石墨電極會隨著通電的時間增加而斷裂，我們的改善方式是使用較粗的筆芯，情況應而獲得改善。
- (2)原本我們是將吉利 T 溶液煮沸後，再倒入碘化鉀或硫酸鋅溶液攪拌後冷卻成果凍，卻發現始終無法凝固為膠體，後來我們將吉利 T 與碘化鉀或硫酸鋅溶液攪拌一起煮沸後，再一起冷卻，終於製成果凍，推測後面的方法吉利 T 與碘化鉀或硫酸鋅混合較均勻，也因此較易凝固成完整的膠體。

(三)未來展望與其他仍待解決之問題

- (1)我們量測結果發現在高電場的情況下，離子具有負向等加速度，而我們實驗推測的結果是因為濃度梯度的影響，由肉眼觀察，例子運動的前方的顏色深度雖和後方顯著不同，似乎可以支持我們的看法，但在低電場情形下，也有此現象(只是較不明顯)，因此僅能推測高電場情況下，濃度梯度造成的影響較大。



- (2)下次可以加入**溫度**這個因素，將蝶豆花因電解而溫度上升的因素納入考慮。
- (3)下次可以研究不同**帶電粒子的形狀**蝶豆花內部移動情形比較，可以選擇帶電量相同、質量相近但形狀不同的離子進行實驗。我們認為本研究第十三頁低電場時，正負離子移動初速度的比值關係的成因除了和質量有關外，也可能和帶電粒子的形狀有關。

柒、結論

- 1、於高電場時($E > 125 \text{V/m}$)，氫離子與氫氧根離子為「負向等加速度運動」，而於低電場($E < 125 \text{V/m}$)時，離子為「等速度運動」。低電場時，離子受電力及摩擦力作用，高電場時，另需考慮濃度梯度的影響。
- 2、於高電場情形時，氫離子的「負向等加速度運動」大小較氫氧根大，因為電位能相同時，氫離子質量較小具有較大速度，當速度愈大愈可能有濃度不均的現象產生，因此氫離子的「負向等加速度運動」的加速度之值較氫氧根大。
- 3、於低電場($E = 83 \text{V/m}$)情形，氫離子的「初速度」為 $0.028 \text{ (cm/min}^2)$ ，而氫氧根為 $0.019 \text{ (cm/min}^2)$ ，可驗證質量較小者初速較大，但初速不與質量大小成反比。
- 4、透過改變電壓以及改變電極距離兩種分法所得到的氫氧根於負極之移動初速度誤差值為 5.7% ，氫離子於正極之移動初速度誤差值為 5% ，兩者相近。
- 5、於低電場($E = 83 \text{V/m}$)時，透過改變電壓以及改變電極距離兩種分法所得到的氫離子與氫氧根離子移動速度比值分別為 0.68 、 0.68 ，兩者相近。
- 6、低電場時碘化鉀濃度愈高或硫酸鋅濃度愈高，氫離子移動加速度為負值，移動初速度下降，是因為還要考慮粒子在膠體內運動雜質散射的影響。
- 7、低電場時氫氧根離子低電場在雜質濃度低時(碘化鉀濃度 2.5%)仍維持等速度運動，推測原因是氫氧根較氫離子質量大，因此當碰撞到雜質時，能量的轉移較小，因此加速度可忽略。碘化鉀濃度提升至 5% ，雜質散射不可忽略，移動加速度為負值，移動初速度由 0.04 (cm/min) 降至 0.0366 (cm/min) 。
- 7、碘分子不帶電，未受電力影響，在蝶豆花雖受到濃度梯度向前進，雖然質量較氫離子與氫氧根大，但負向加速度量值較大。
- 8、碘化鉀濃度為 2.5% 時，施加高電場，氫離子與氫氧根離子除受雜質散射的影響，使其在蝶豆花內部運動所受阻力增加，再加上因為高電場而使濃度梯度產生，因此，負向移動加速度大小變大。
- 9、碘化鉀濃度為 2.5% 時，施加高電場，碘分子不帶電，未受電力影響，負向加速度大小與低電場情形幾乎相同。

10、電場為 0.833V/cm 時，氫離子的遷移率為 $0.036 \text{ cm}^2/\text{vs}$ ，氫氧根的遷移率為 $0.022 \text{ cm}^2/\text{vs}$ ，電場為 1.666V/cm 時，氫離子的遷移率為 $0.058 \text{ cm}^2/\text{vs}$ ，氫氧根的遷移率為 $0.029 \text{ cm}^2/\text{vs}$ ，與氫離子相較，氫氧根之遷移率較不受外加電場所影響，推論原因是氫氧根離子質量較大，速度變化量較小，因此被加速時間 τ 也變化量也較少，故遷移率影響不大。

捌、參考資料及其他

一、電解質離子在電場中移動之探討 · 中學生網站 · 取自

<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2012/03/2012033014130565.pdf>

二、蝶豆花漸層飲料 · 中學生網站 · 取自

<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2016/11/2016111022462785.pdf>

三、離子趴趴走—更環保、更輕巧地進行電解、電鍍實驗 · 第四十五屆中小學科學展覽會 ·

取自 https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/45/high/0316_menu.htm

四、膠體電泳概述 · 科學 Online 高瞻自然科學教學資源平台 · 取自

<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=46532>

五、膠體科學簡介 · 台灣物理學會 · 取自

<http://psroc.phys.ntu.edu.tw/bimonth/v23/482.doc>

六、半導體物理簡介 · 國立中興大學物理學系 · 取自

<http://ezphysics.nchu.edu.tw/prophys/condmatt/handouts/chap8semicon/semicond.pdf>

【評語】 030217

同學們使用蝶豆花膠體作為基板，在高低外加電場施加下，形成一平板凝膠電泳的系統。位於電極端的水分子因受到電解作用在正極端產生氫離子，負極端產生氫氧根離子，分離受到電場的作用往其相反電荷方向移動，由於蝶豆花膠體內的花青素容易受到 pH 的影響產生不同的變色，因此可以透過肉眼的觀察到氫離子與氫氧根離子在膠體內泳動的現象，藉此算出它們在高低電場下的電淌度的大小。此系統也進一步應用於觀察碘化鉀在蝶豆花內泳動的現象。整體而言研究內容相當有趣，也富有創意，最令人激賞的可透過簡單儀器確實觀察到氫離子與氫氧根離子在電場下的運動，把原本課本上很生硬的理論，靈活地展示在大家面前。若能以離子間化學作用力代替摩擦力來解釋移動速度與方向可能更佳。以下幾點建議提供參考：

1. 1 可以先將蝶豆花配置在不同 pH 溶液下，得知其變化的顏色。依此作為基礎，比照實驗結果就可以得知氫氧根離子與氫離子在蝶豆花膠體內所造成的 pH 梯度的現象。
2. 文獻回顧的方面可以再加強，譬如說明蝶豆花為何在不同的 pH 溶液下會有不同的顏色變化，吉利丁粉為何在常溫下會產固化現象。

3. 在高電場下，氫氧根離子與氫離子不遵守等速運動，研究內文建議可能是濃度梯度造成的效應，此說明要再加強。另外在高電場下，會有熱效應的存在，也可以是其中一個可能的原因。
4. 實驗原始紀錄不要使用立可白、鉛筆、和便利貼。

壹、研究動機

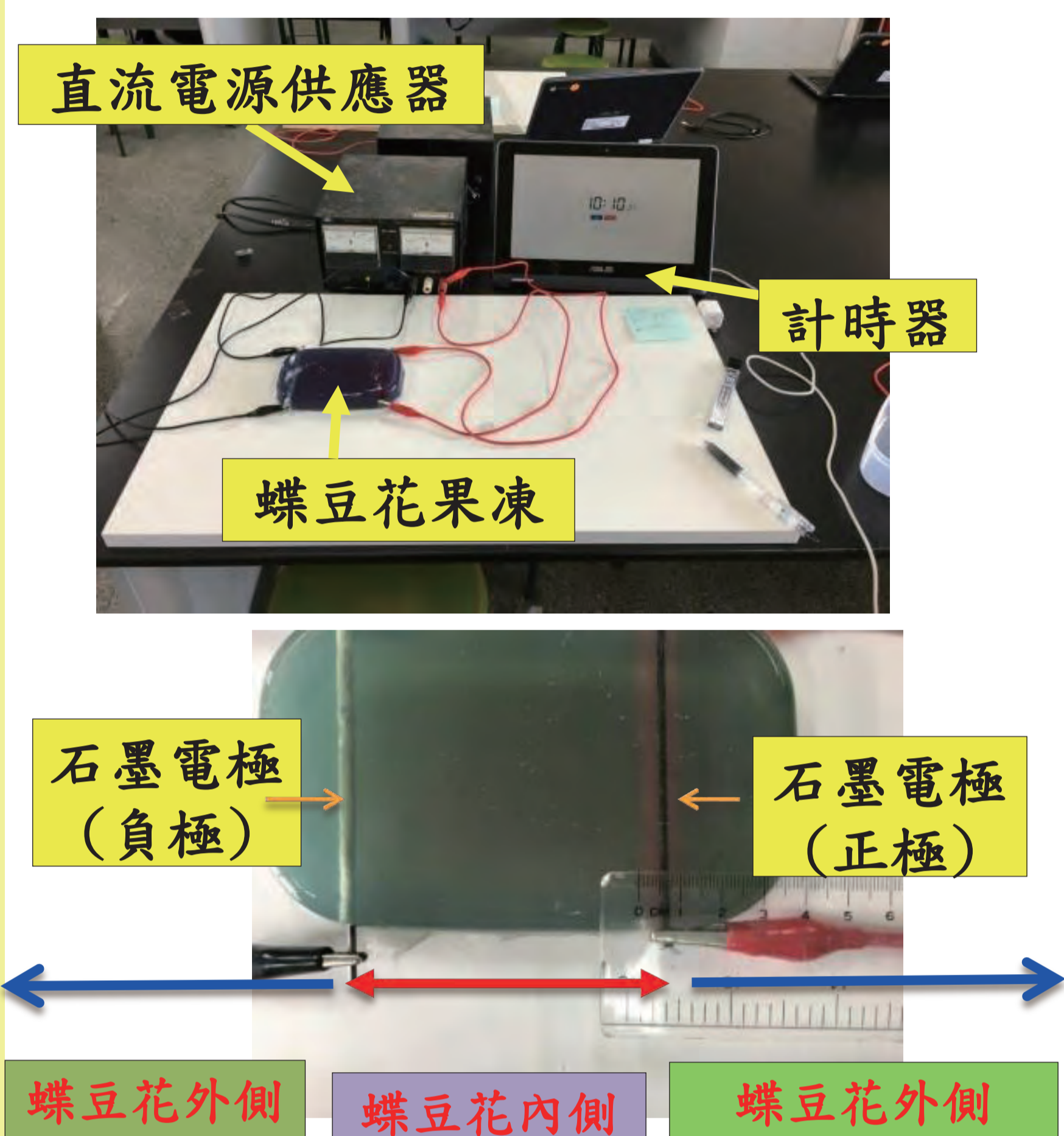
老師在理化課堂講解電解單元時，提到溶液內部離子於電解時會往正負極移動，我們覺得很感興趣，但對於離子事實上如何運動仍覺得很抽象，剛好在家政課老師有讓我們做蝶豆花飲料，我們發現蝶豆花溶液會因為酸鹼度而改變顏色，這讓我想到若能將電解以及蝶豆花遇酸鹼會變色的特性結合，可以藉由通電後直接「巨觀」地觀察並量測物質內部離子在電解時的移動情形，因此我們開始著手設計實驗。

貳、研究目的

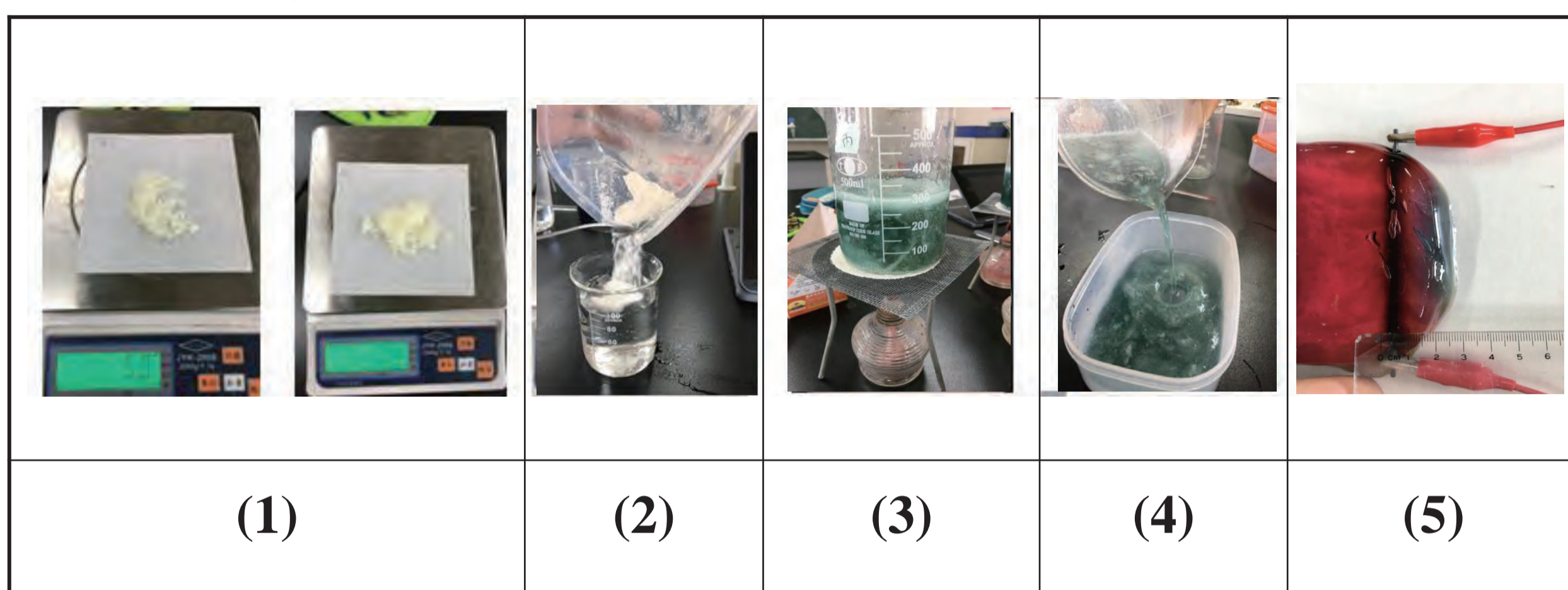
- (一) 改變兩電極電壓差，探討蝶豆花果凍內粒子移動距離與時間之關係
- (二) 改變兩電極距離，探討蝶豆花果凍內粒子移動距離與時間之關係
- (三) 改變碘化鉀濃度，探討加入碘化鉀之蝶豆花果凍內粒子移動距離與時間之關係
- (四) 改變電極間距離，探討加入碘化鉀之蝶豆花果凍內粒子移動距離與時間之關係
- (五) 計算離子於蝶豆花內部之遷移率

參、研究過程及方法

■本實驗之實驗裝置圖



(三) 改變碘化鉀濃度，探討加入碘化鉀之蝶豆花果凍內粒子移動距離與時間之關係：



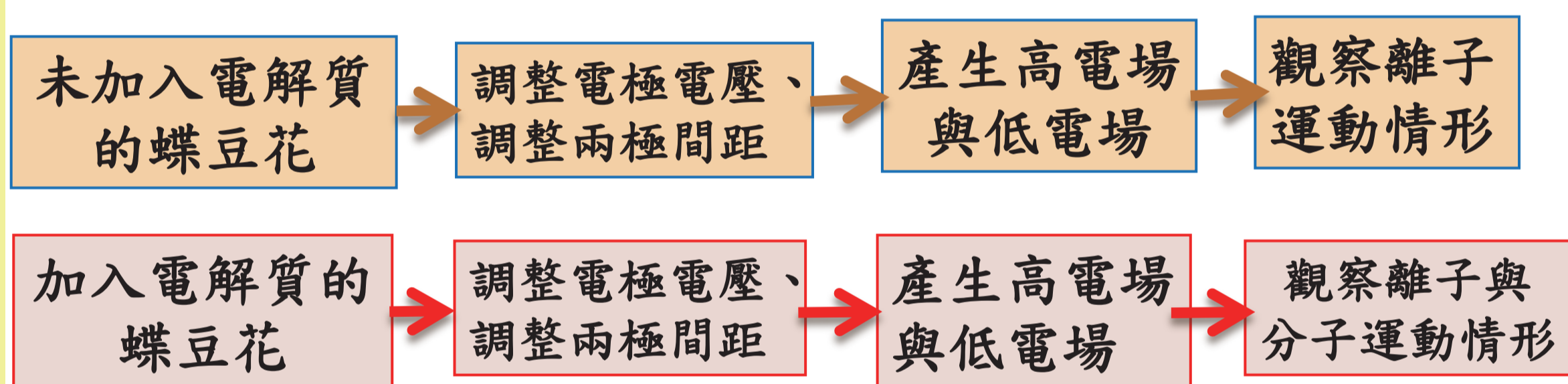
(四) 改變電極間距離，探討加入碘化鉀之蝶豆花果凍內粒子移動距離與時間之關係

本步驟為第(二)、(三)部分步驟的結合

(五) 計算離子於蝶豆花內部之遷移率

本步驟為第(一)、(二)部分步驟的結合，差異處僅為量測時同時量測電極內側離子移動距離以及電極外側離子移動距離。

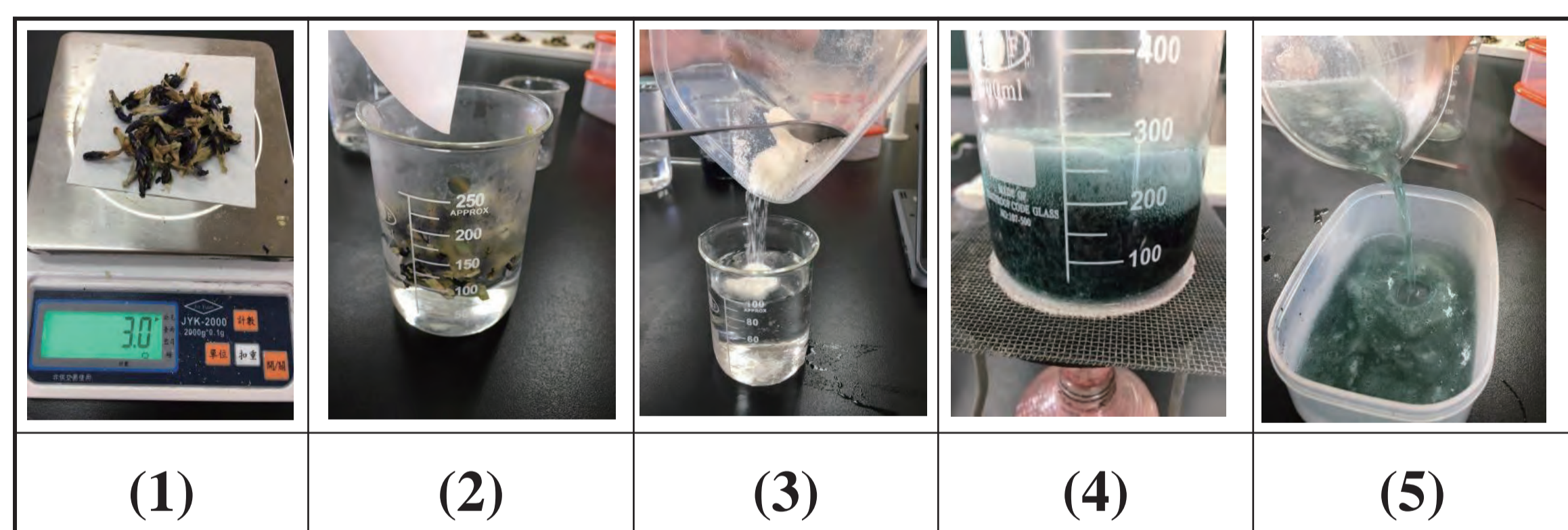
肆、研究方法



伍、研究結果與分析

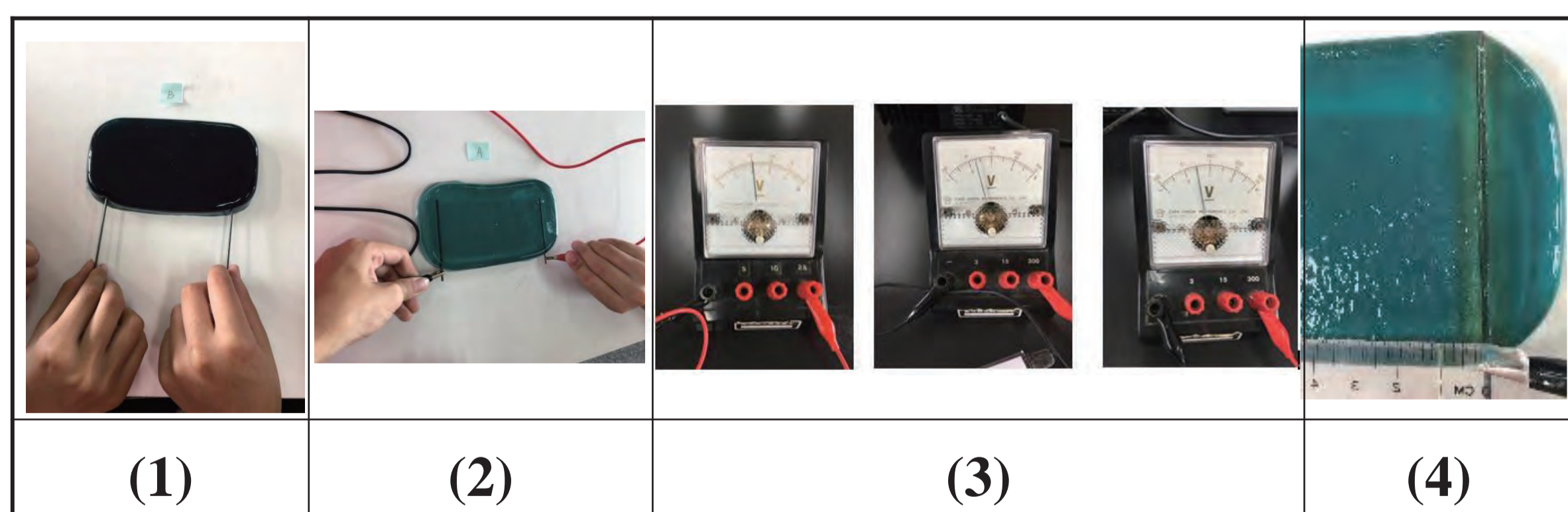
■前置階段數據量測與分析

■前置階段實驗步驟

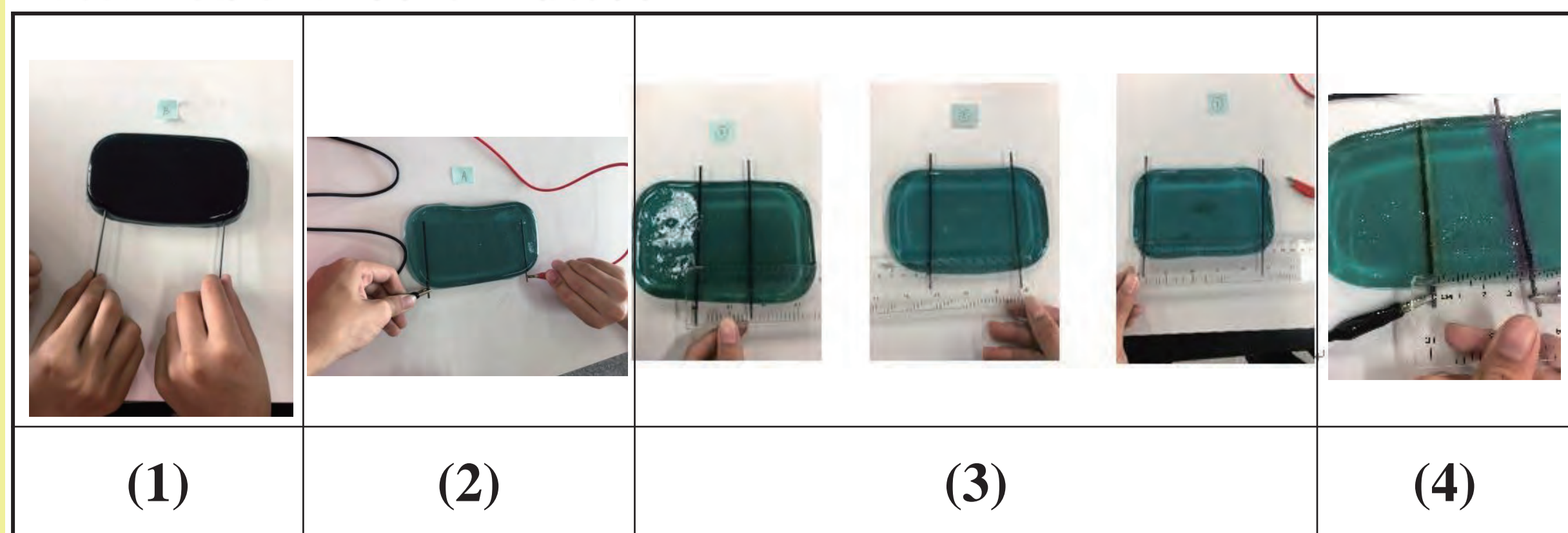


■各變因之實驗步驟

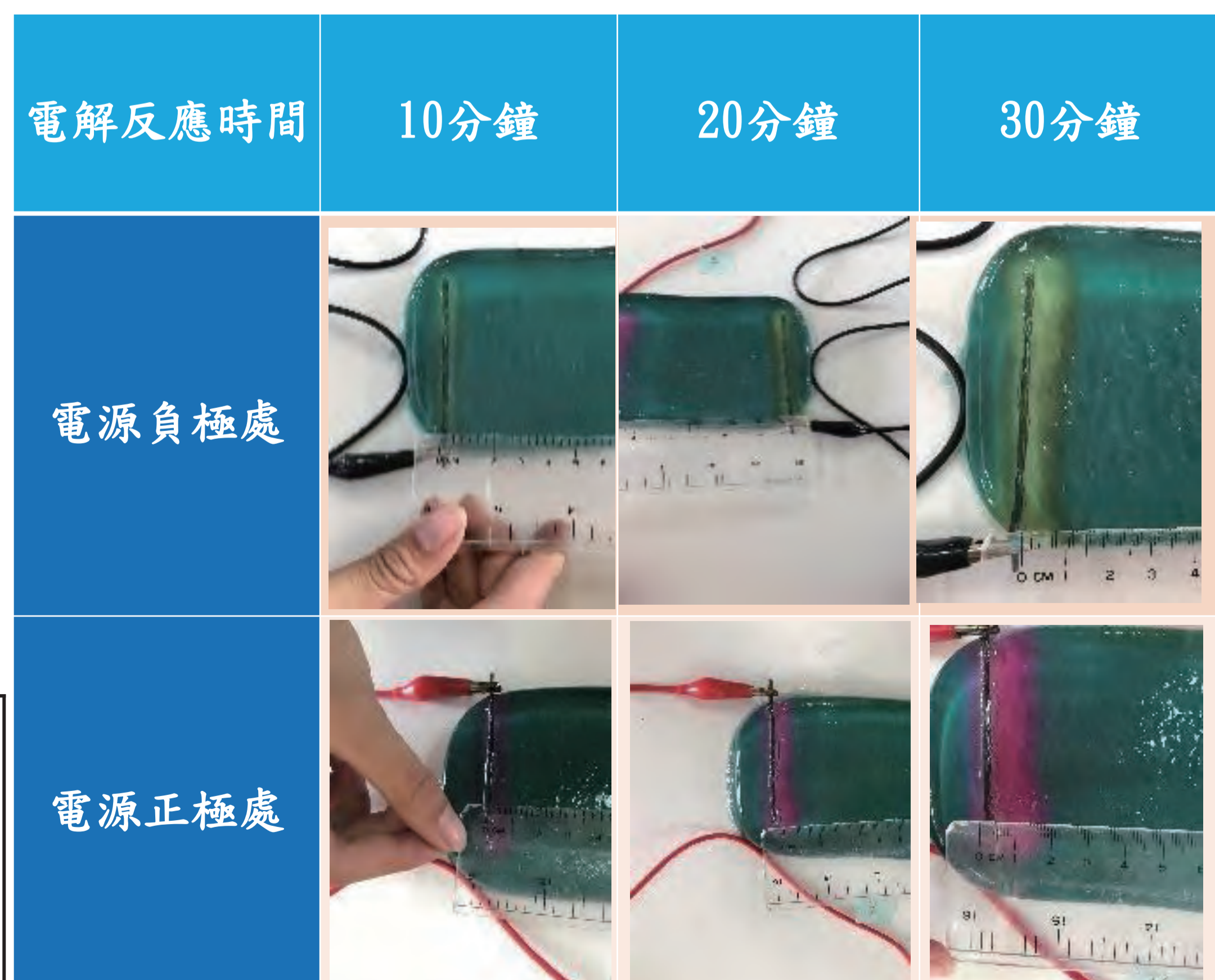
(一) 改變兩電極電壓差，探討蝶豆花果凍內粒子移動距離與時間之關係



(二) 改變兩電極距離，探討蝶豆花果凍內粒子移動距離與時間之關係：



| 浸泡時間3分鐘，兩端電極電壓差10伏特 | | | |
|---------------------|------|-------------------|------|
| 施加電壓時間 | 10分鐘 | 20分鐘 | 30分鐘 |
| 負極處顏色移動距離(cm) | 0.5 | 1.0 | 1.0 |
| 正極處顏色移動距離(cm) | 1.0 | 1.5 | 2.0 |
| 浸泡時間5分鐘，兩端電極電壓差10伏特 | | | |
| 施加電壓時間 | 10分鐘 | 20分鐘 | 30分鐘 |
| 負極處顏色移動距離(cm) | 0.5 | 0.5 | 1.0 |
| 正極處顏色移動距離(cm) | 1.0 | 1.0 | 1.5 |
| 浸泡時間7分鐘，兩端電極電壓差10伏特 | | | |
| 施加電壓時間 | 10分鐘 | 10分鐘之後 | |
| 負極處顏色移動距離(cm) | 0.5 | 產生蝶豆花溶解的現象，所以停止量測 | |
| 正極處顏色移動距離(cm) | 0.5 | | |

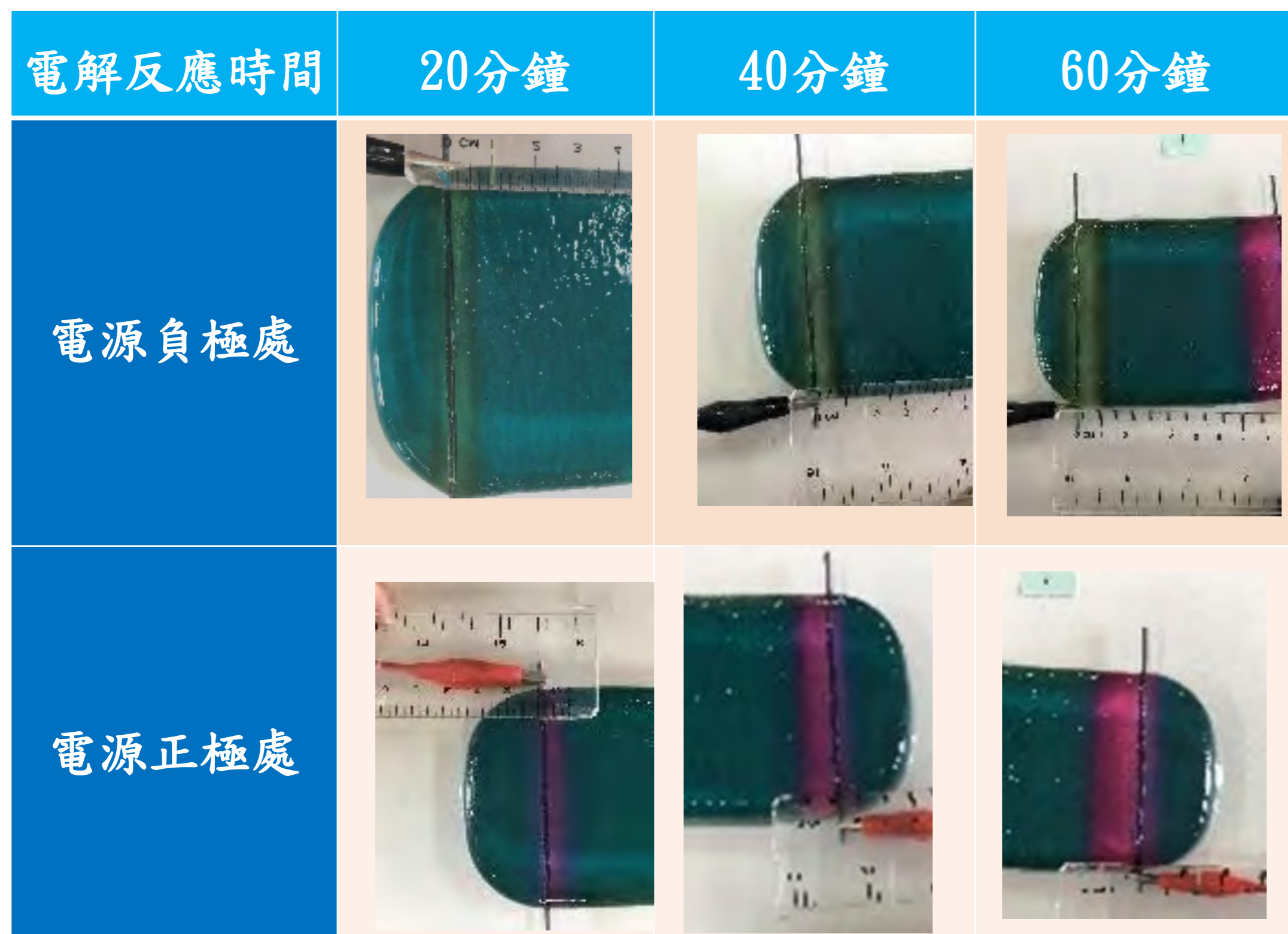


二、各變因間之關係：

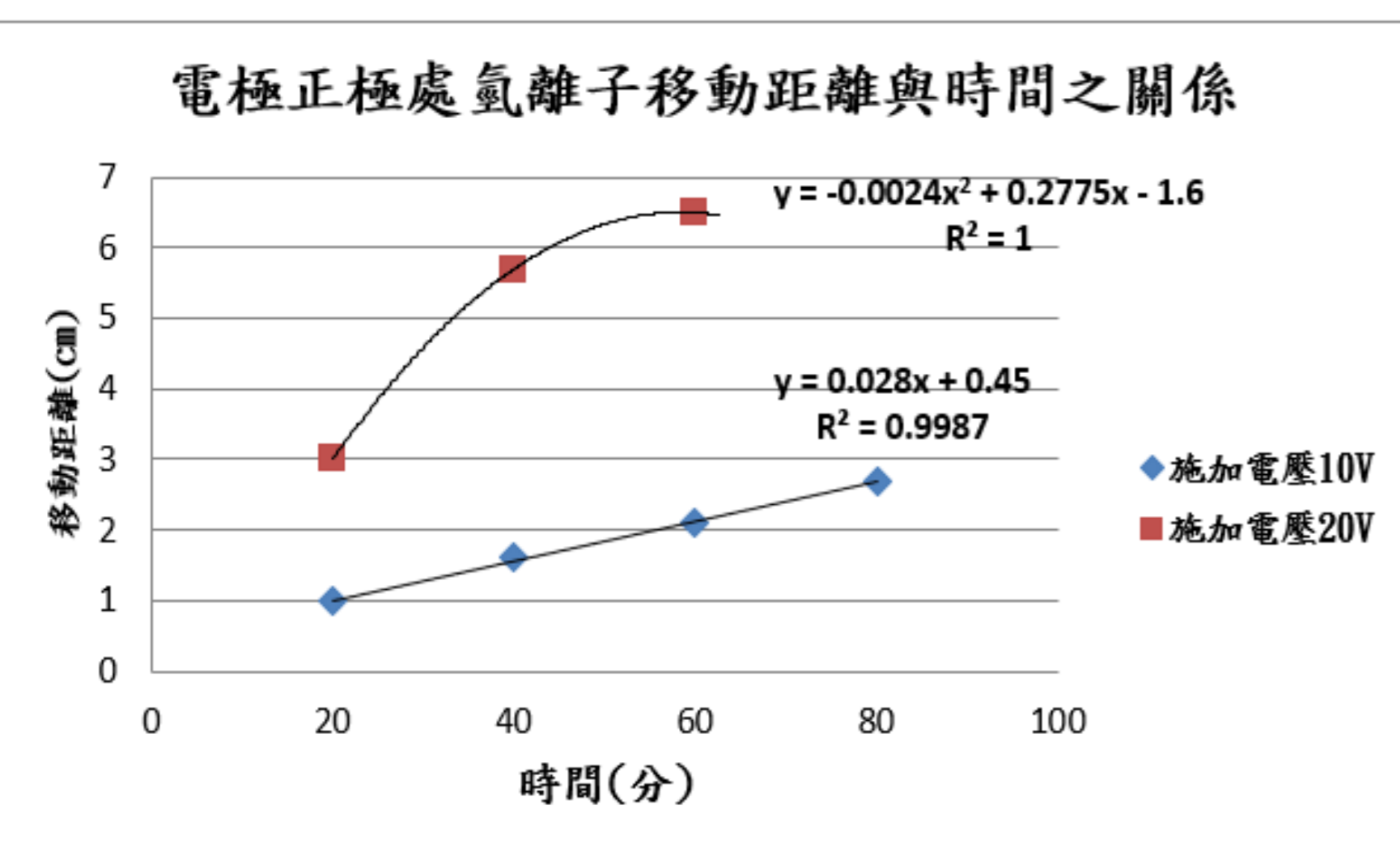
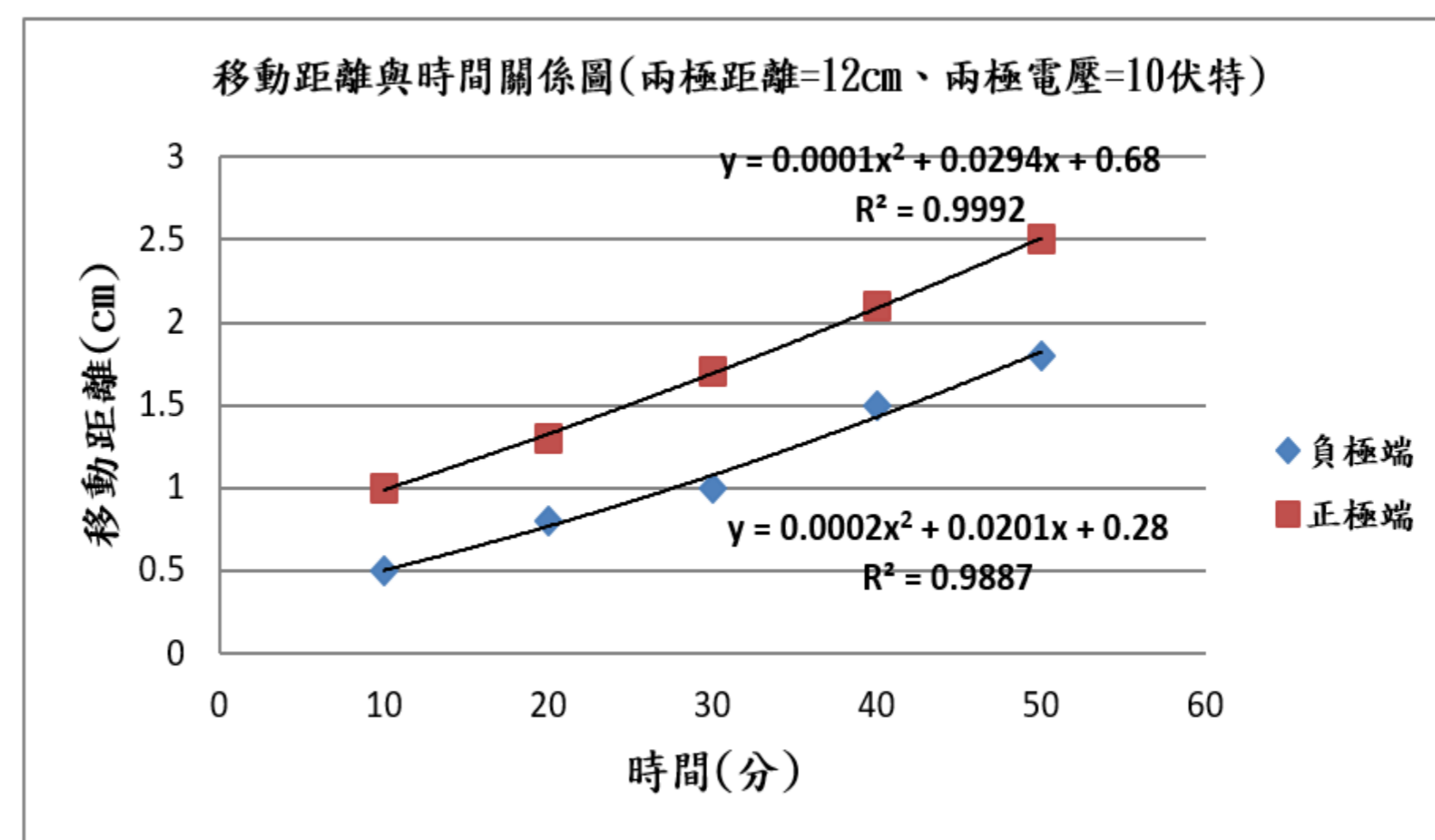
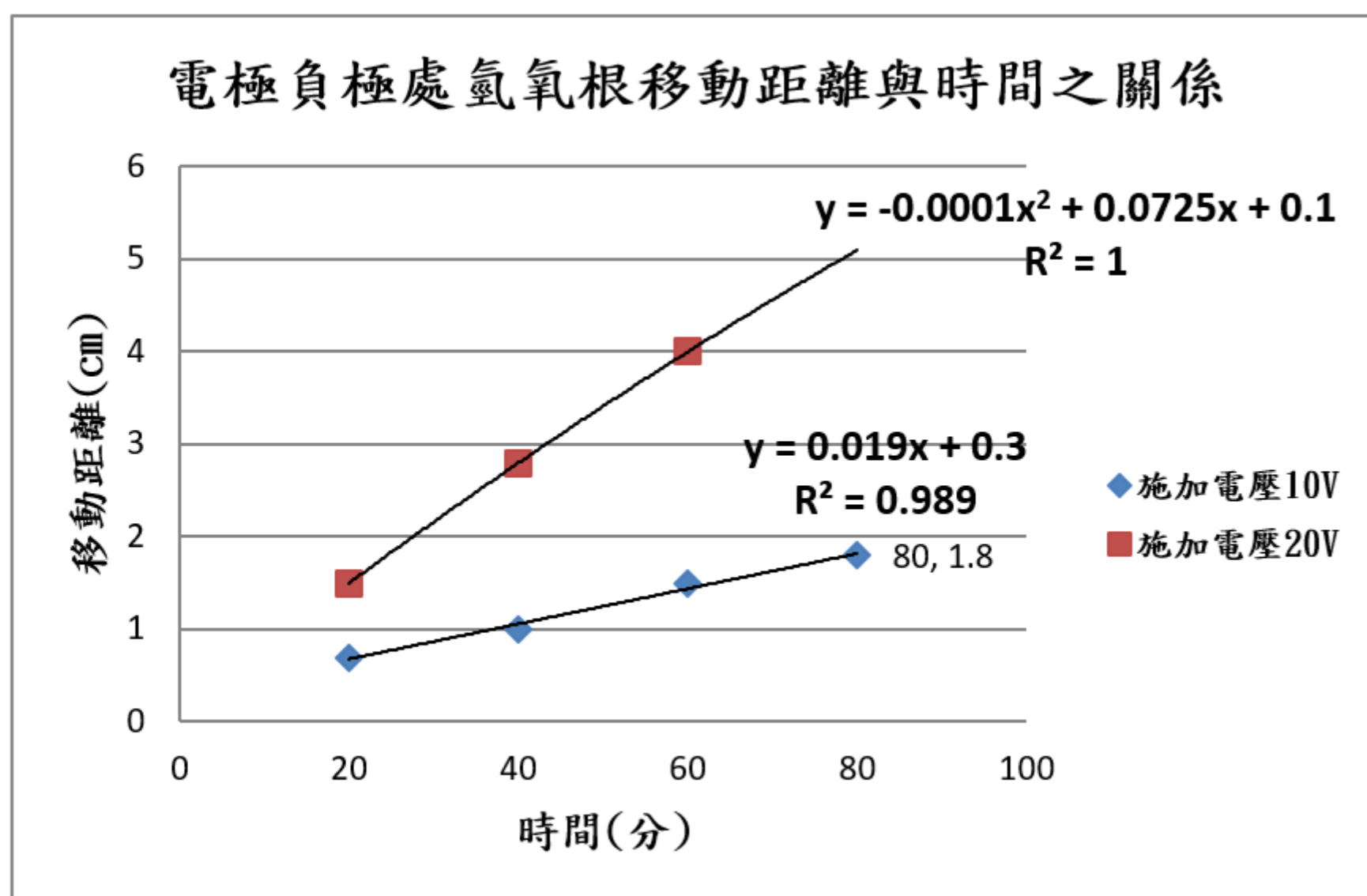
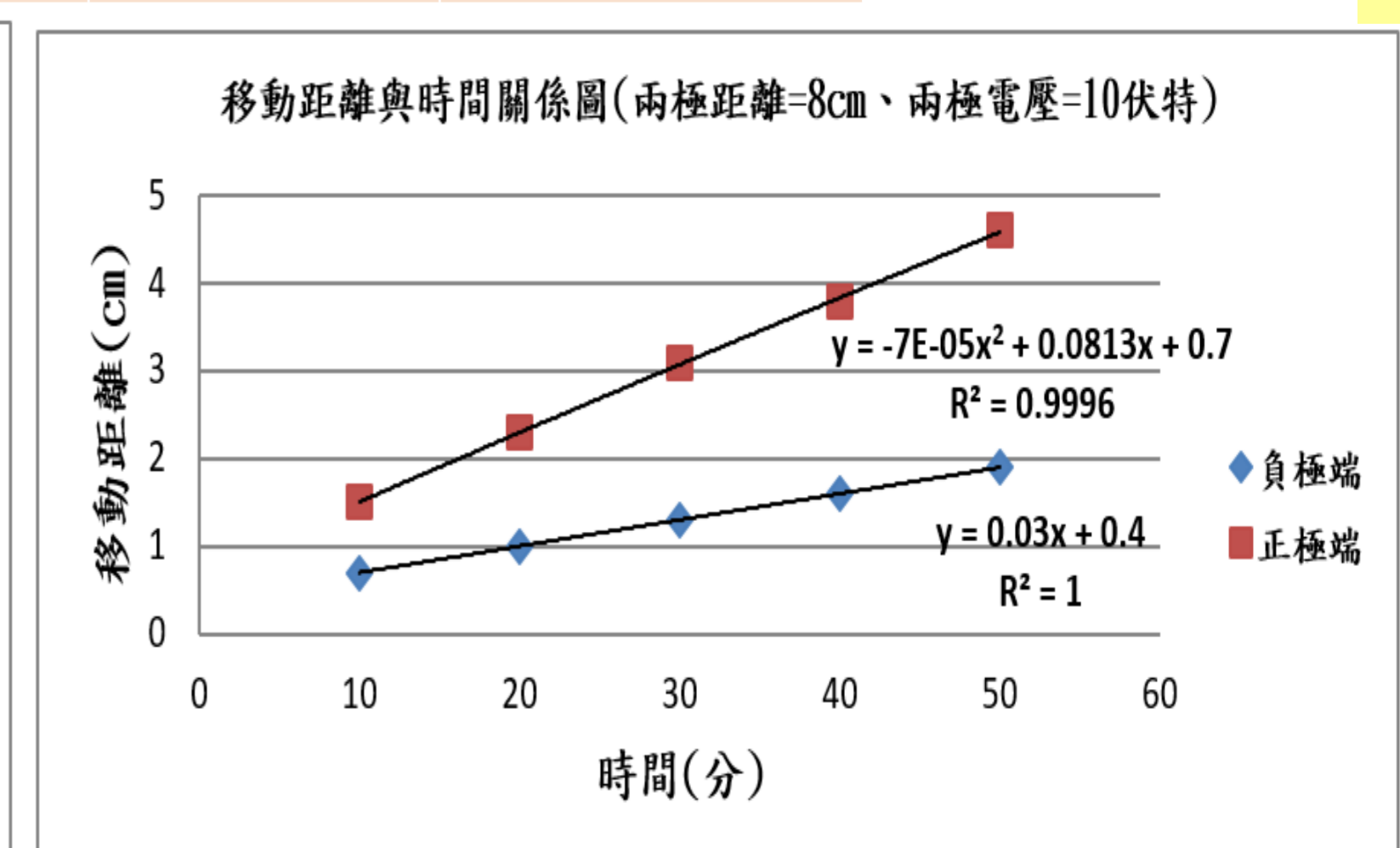
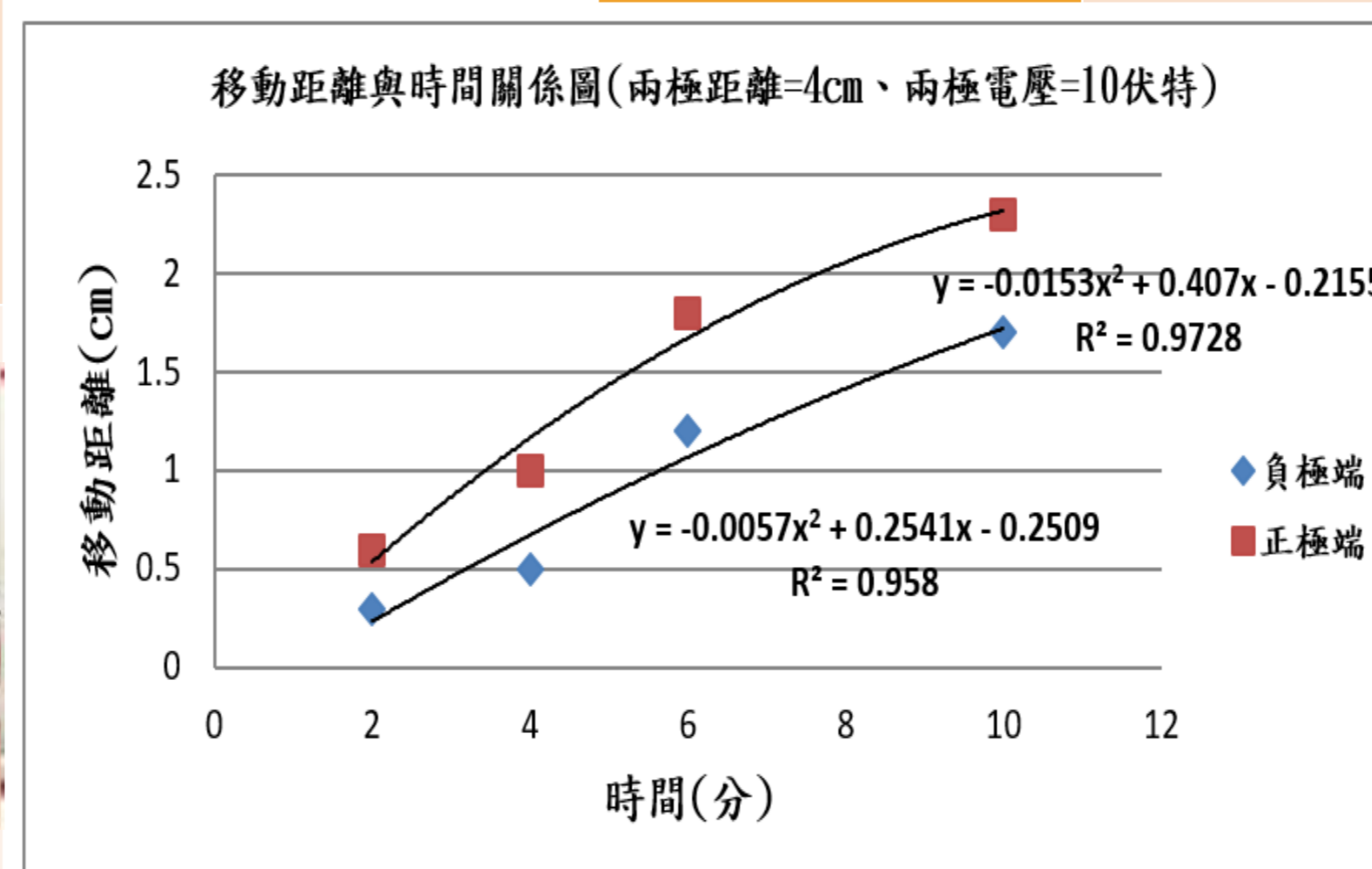
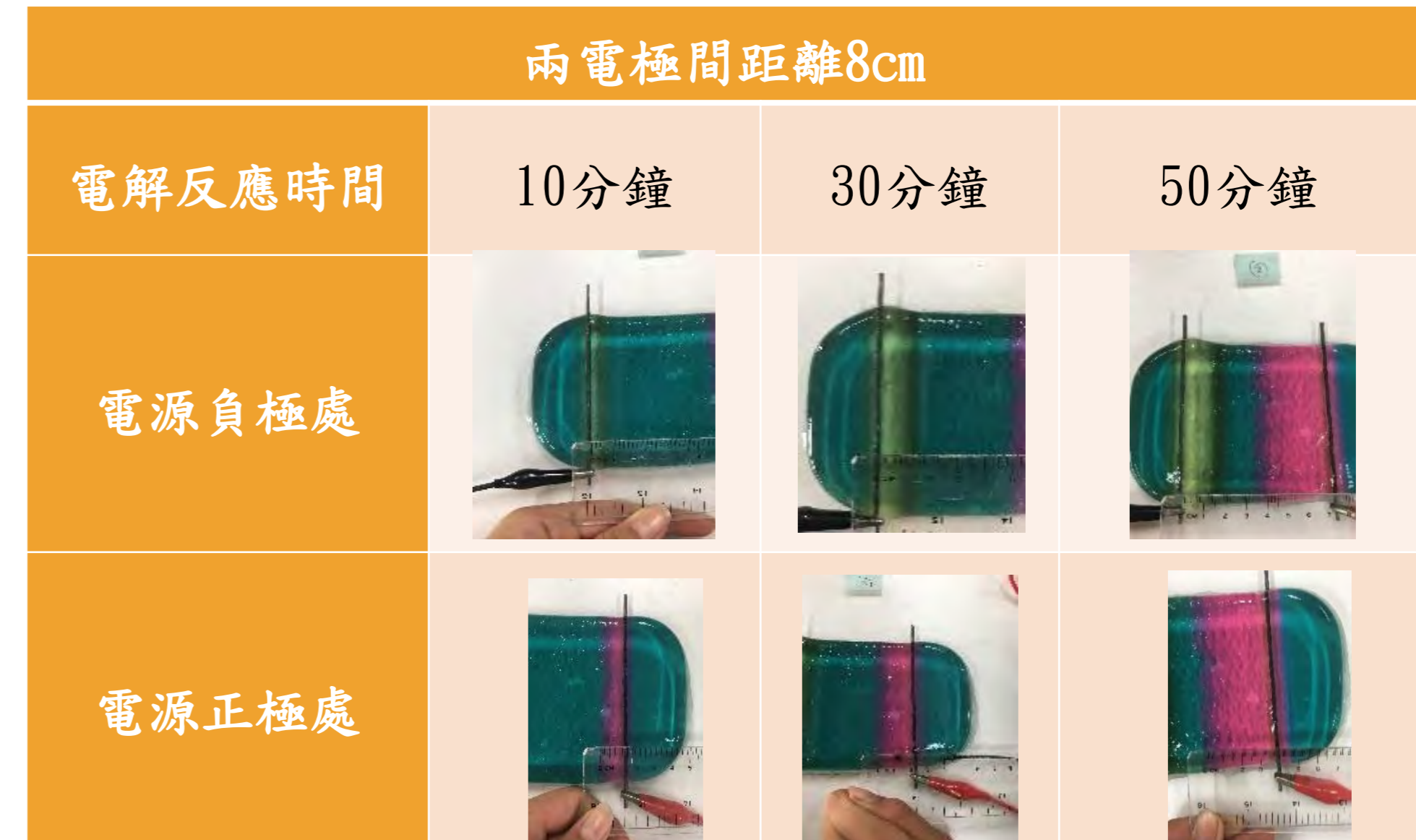
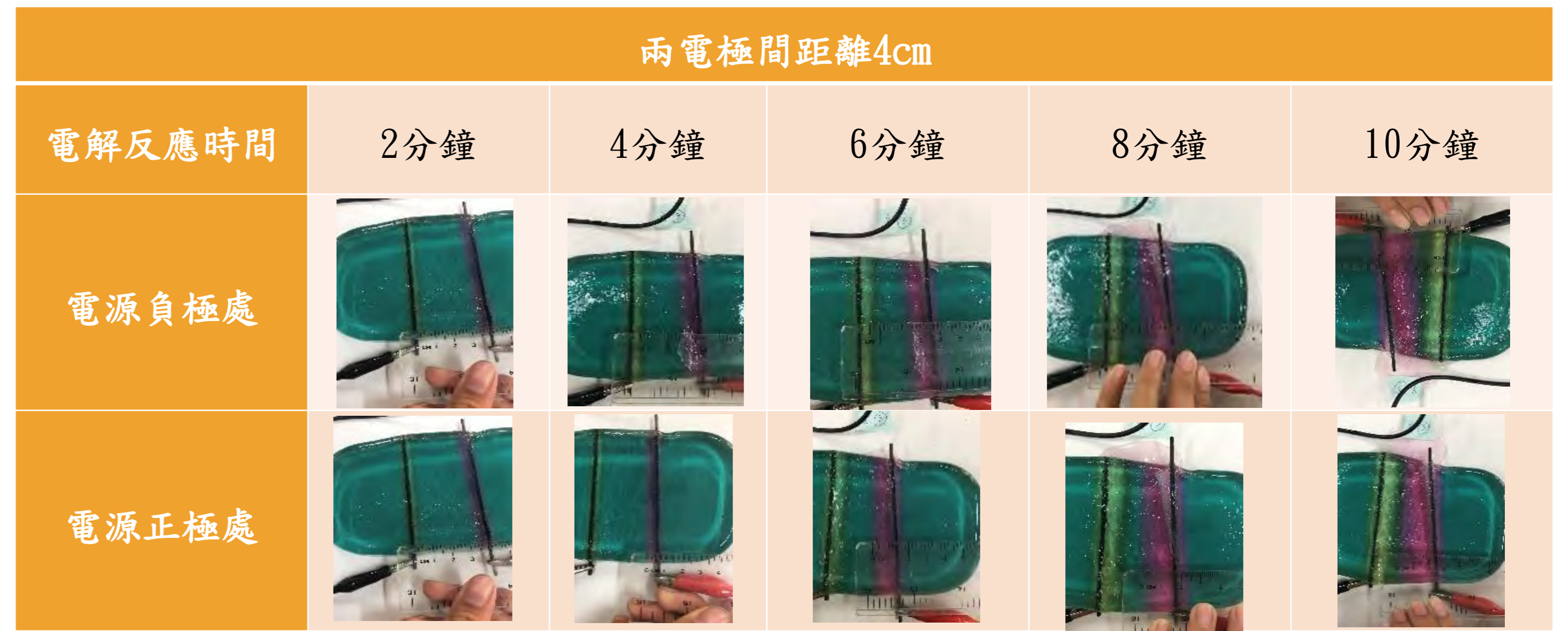
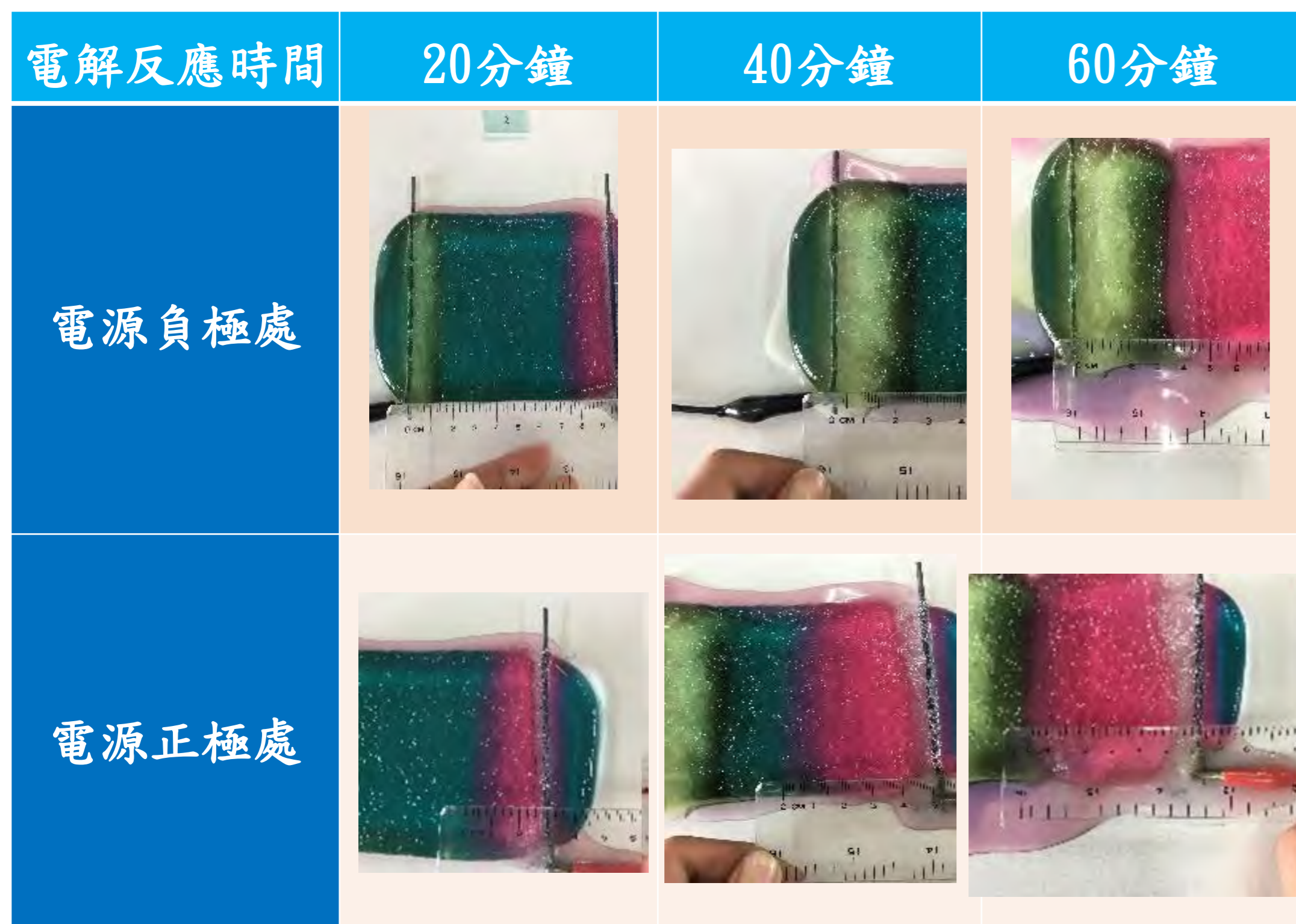
一、改變兩電極電壓差，量測蝶豆花果凍內粒子移動距離與時間之關係

(二)改變兩電極距離，探討蝶豆花果凍內粒子移動距離與時間之關係

(1)兩極電壓10伏特



(2)兩極電壓20伏特



(1)我們可以推測高電場與低電場的臨界約為125(V/m)，大於此電場值，離子做負向等加速度運動，小於此電場時，離子做等速度運動。

(2)於高電場之情形，當電場愈大，負向等加速度運動之量值愈大，當離子獲得較大能量，速度較大，離子分布不均產生濃度梯度的現象更明顯。

(3)低電場(E=83V/m)時，透過改變電壓以及改變電極距離兩種分法所得到的氫氧根於負極之移動初速度誤差值為5.7%，氫離子於正極之移動初速度誤差值為5.0%。

(4)低電場(E=83V/m)時，氫離子與氫氧根離子移動速度比值分別為0.68、0.68，兩者相近。

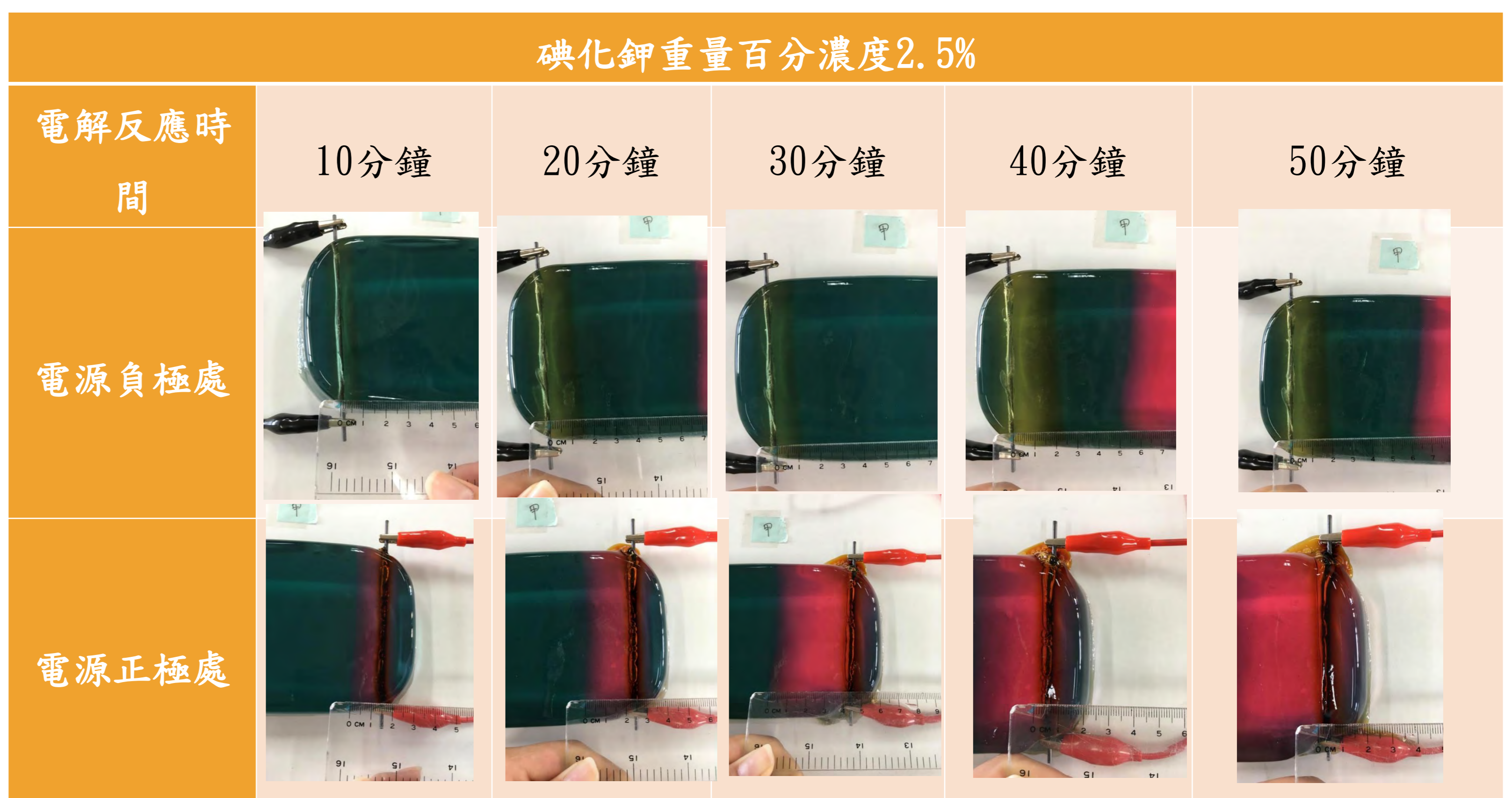
(三)改變碘化鉀濃度，探討加入碘化鉀之蝶豆花果凍內粒子移動距離與時間之關係

| 氫氧根於負極之移動情形 | | | |
|-------------|----------------------------------|----------------|------------------------------|
| 電場值 (V/m) | 移動距離與於時間關係 | 移動初速度 (cm/min) | 移動加速度 (cm/min ²) |
| 166 | $y = -0.0001x^2 + 0.0725x + 0.1$ | 0.0725 | -0.0002 |
| 83 | $y = 0.019x + 0.3$ | 0.019 | 0 |
| 氫離子於正極之移動情形 | | | |
| 電場值 (V/m) | 移動距離與於時間關係 | 移動初速度 (cm/min) | 移動加速度 (cm/min ²) |
| 166 | $y = -0.0024x^2 + 0.2775x - 1.6$ | 0.2775 | -0.0048 |
| 83 | $y = 0.028x + 0.45$ | 0.028 | 0 |

(1)於高電場時，氫離子與氫氧根離子為「負向等加速度運動」，而於低電場時，離子為「等速度運動」。

(2)於高電場情形時，氫離子的「負向等加速度運動」量值比氫氧根大，此與濃度梯度有關。

(3)氫離子與氫氧根質量比值約為 $\frac{1}{17}$ ，於低電場情形，初速比值非為17，可能和離子形狀有關。



陸、討論

■未來展望與其他仍待解決之問題

- (1)可以加入溫度這個因素，將蝶豆花浸泡溫度不同的因素納入考慮。
- (2)可以研究不同帶電粒子的形狀在蝶豆花內部移動情形比較，可以選擇帶電量相同、質量相近但形狀不同的離子進行實驗。

柒、結論

1、於高電場時($E > 125V/m$)，氫離子與氫氧根離子為「負向等加速度運動」，而於低電場

($E < 125V/m$)時，離子為「等速度運動」。低電場時，離子受電力及摩擦力作用，高電場時，另需考慮濃度梯度的影響。

2、於高電場情形時，氫離子的「負向等加速度運動」大小較氫氧根大，因為電位能相同時，氫離子質量較小具有較大速度，當速度愈大愈可能有濃度不均的現象產生，因此氫離子的「負向等加速度運動」的加速度之值較氫氧根大。

3、於低電場($E = 83V/m$)情形，氫離子的「初速度」為 $0.028 \text{ (cm/min}^2)$ ，而氫氧根為 $0.019 \text{ (cm/min}^2)$ ，可驗證質量較小者初速較大，但初速不與質量大小成反比。

4、透過改變電壓以及改變電極距離兩種分法所得到的氫氧根於負極之移動初速度誤差值為 5.7% ，氫離子於正極之移動初速度誤差值為 5% ，兩者相近。

5、於低電場($E = 83V/m$)時，透過改變電壓以及改變電極距離兩種分法所得到的氫離子與氫氧根離子移動速度比值分別為 0.68 、 0.68 ，兩者相近。

6、低電場時碘化鉀濃度愈高或硫酸鋅濃度愈高，氫離子移動加速度為負值，移動初速度下降，是因為還要考慮粒子在膠體內運動雜質散射的影響。

7、低電場時氫氧根離子在雜質濃度低時(碘化鉀濃度 2.5%)仍維持等速度運動，推測原因是氫氧根較氫離子質量大，因此當碰撞到雜質時，能量的轉移較小，因此加速度可忽略。碘化鉀濃度提升至 5% ，雜質散射不可忽略，移動加速度為負值，移動初速度由 0.04 (cm/min) 降至 0.0366 (cm/min) 。

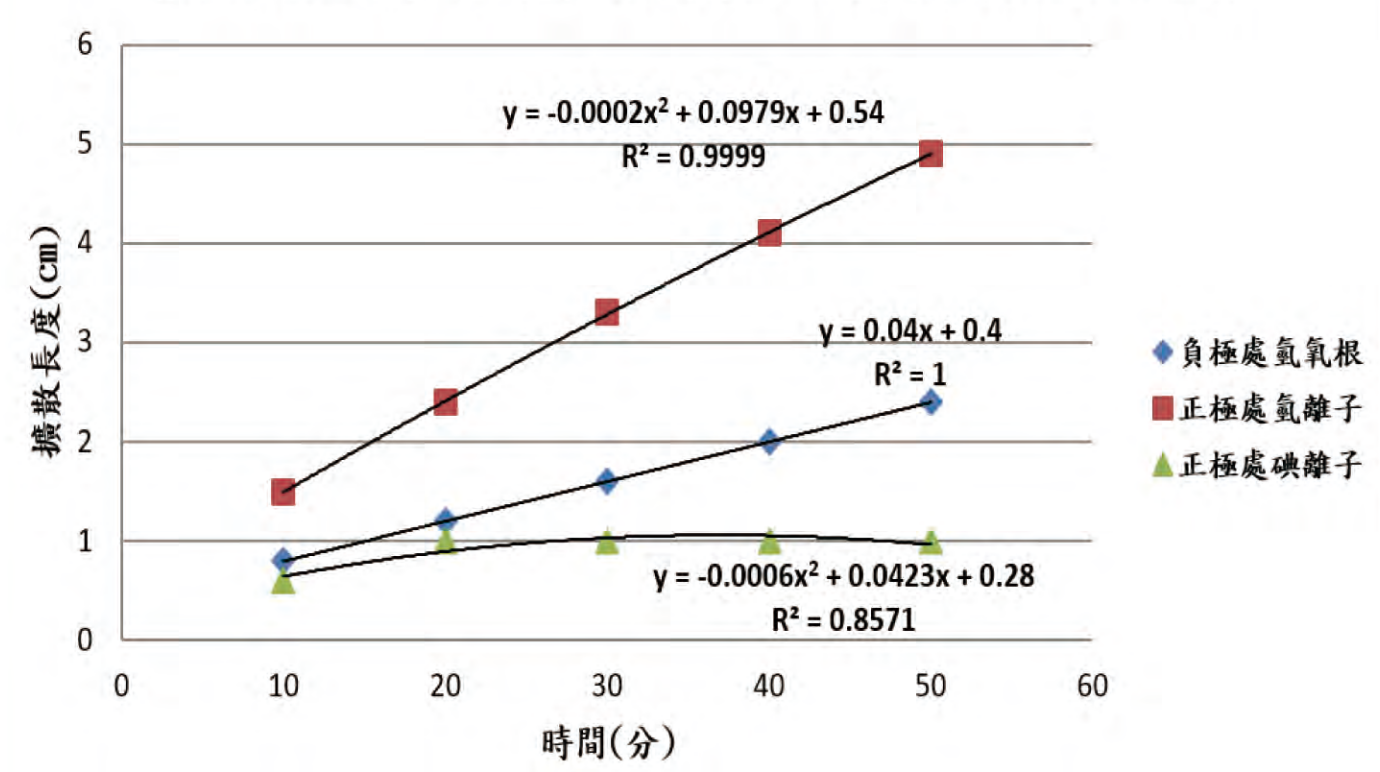
7、碘分子不帶電，未受電力影響，在蝶豆花雖受到濃度梯度向前進，雖然質量較氫離子與氫氧根大，但負向加速度量值較大。

8、碘化鉀濃度為 2.5% 時，施加高電場，氫離子與氫氧根離子除受雜質散射的影響，使其在蝶豆花內部運動所受阻力增加，再加上因為高電場而使濃度梯度產生，因此，負向移動加速度大小變大。

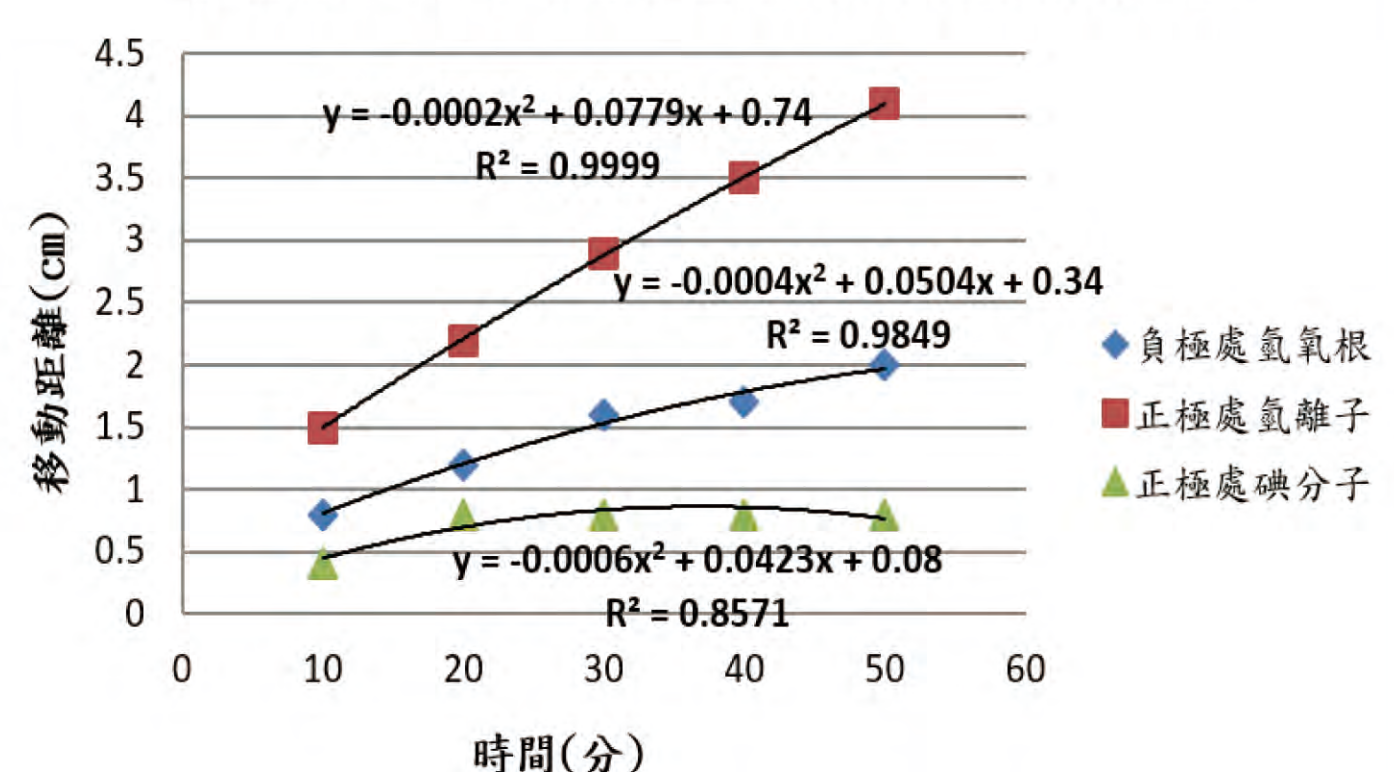
9、碘化鉀濃度為 2.5% 時，施加高電場，碘分子不帶電，未受電力影響，負向加速度大小與低電場情形幾乎相同。

10、電場為 $0.833V/cm$ 時，氫離子的遷移率為 $0.036 \text{ cm}^2/vs$ ，氫氧根的遷移率為 $0.022 \text{ cm}^2/vs$ ，電場為 $1.666V/cm$ 時，氫離子的遷移率為 $0.058 \text{ cm}^2/vs$ ，氫氧根的遷移率為 $0.029 \text{ cm}^2/vs$ ，與氫離子相較，氫氧根之遷移率較不受外加電場所影響，推論原因是氫氧根離子質量較大，速度變化量較小

移動距離與時間關係圖(2.5%的碘化鉀溶液)



移動距離與時間關係圖(5%的碘化鉀溶液)



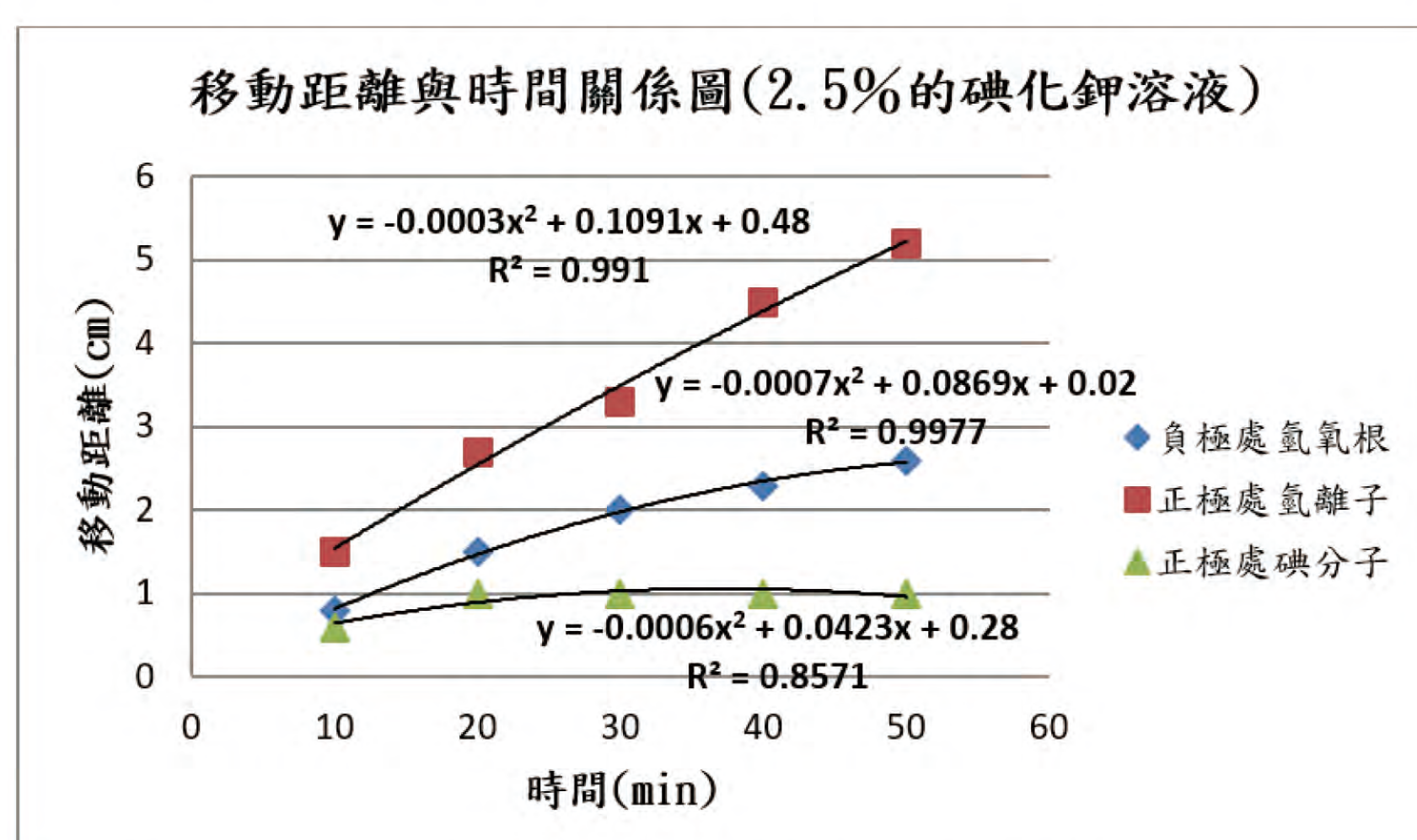
(1)碘離子在正極電極的反應式為 $2I^- \rightarrow I_2 + 2e^-$ ，無色的 I^- 在正極氧化為褐色的 I_2 ，使 I_2 濃度在正極處的濃度最高，產生濃度梯度，可以觀測正極褐色物質 I_2 的擴散現象。

(2)氫離子低電場下本應為等速度運動，但此時受到碘化鉀雜質的影響，產生雜質散射，使氫離子在蝶豆花內部運動所受阻增加，為負向加速度運動。

(3)氫氧根離子低電場下應為等速度運動，推測原因是氫氧根較氫離子質量大，因此當碰撞到雜質時，能量的轉移較小，也因此仍維持等速度運動。

(4)碘分子不帶電，因此在蝶豆花雖受到濃度梯度向前進(電極處濃度最高)，在蝶豆花內部僅受摩擦力作用，雖然質量遠較氫離子、氫氧根離子為大，但移動加速度為量值，顯著大於受到電力影響的氫離子、氫氧根離子。

(四)改變電極間距離，探討加入碘化鉀之蝶豆花果凍內粒子移動距離與時間之關係



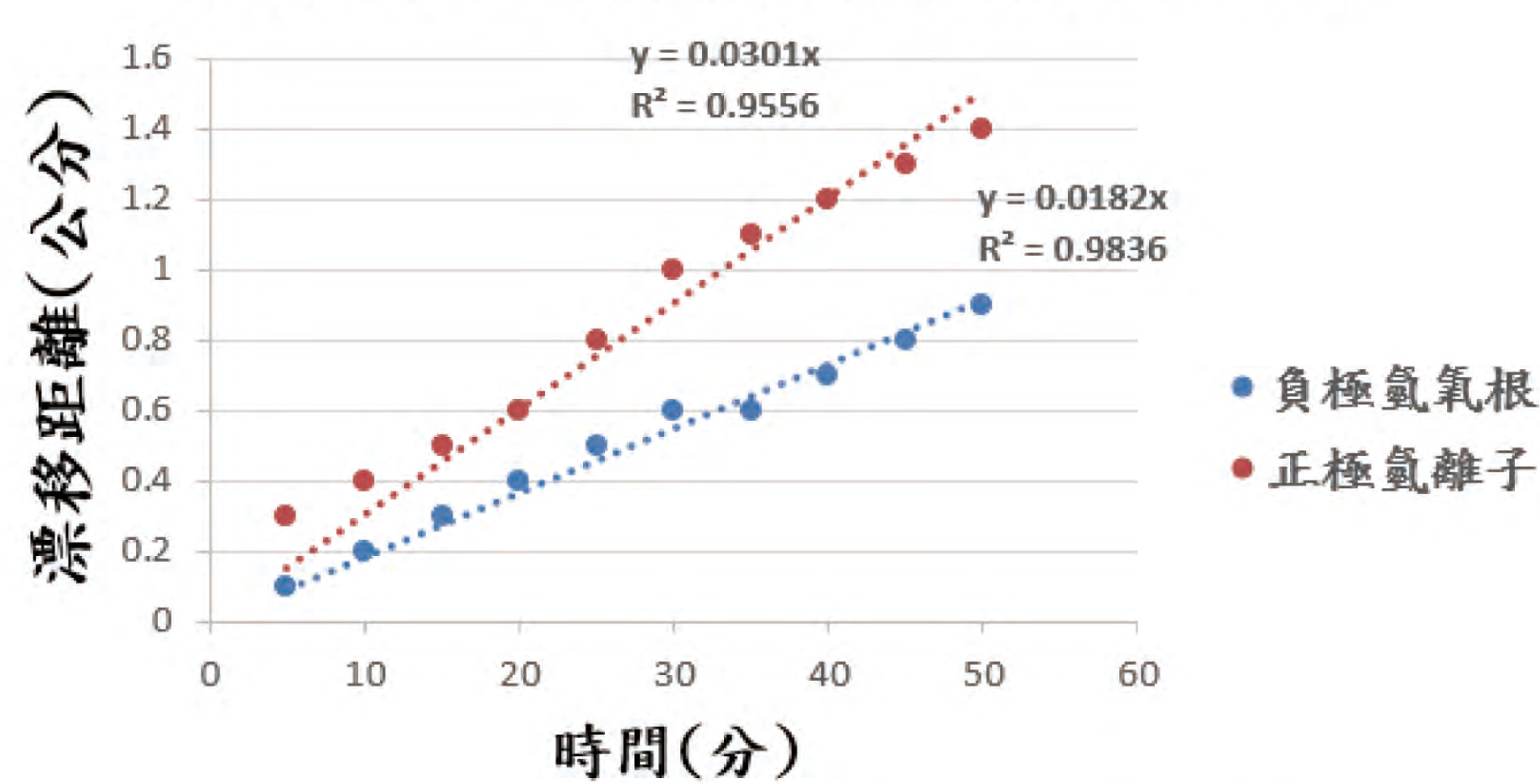
(1)於高電場時，氫離子除受碘化鉀雜質的影響，產生雜質散射，使其在蝶豆花內部運動所受阻力增加，加上因為高電場而使濃度梯度產生，因此，移動加速度量值增加。

(2)於高電場時，氫氧根離子除受到碘化鉀雜質的影響，產生雜質散射，使其在蝶豆花內部運動所受阻力增加，加上因為高電場而使濃度梯度產生，因此，由等速度變為負向等加速度。

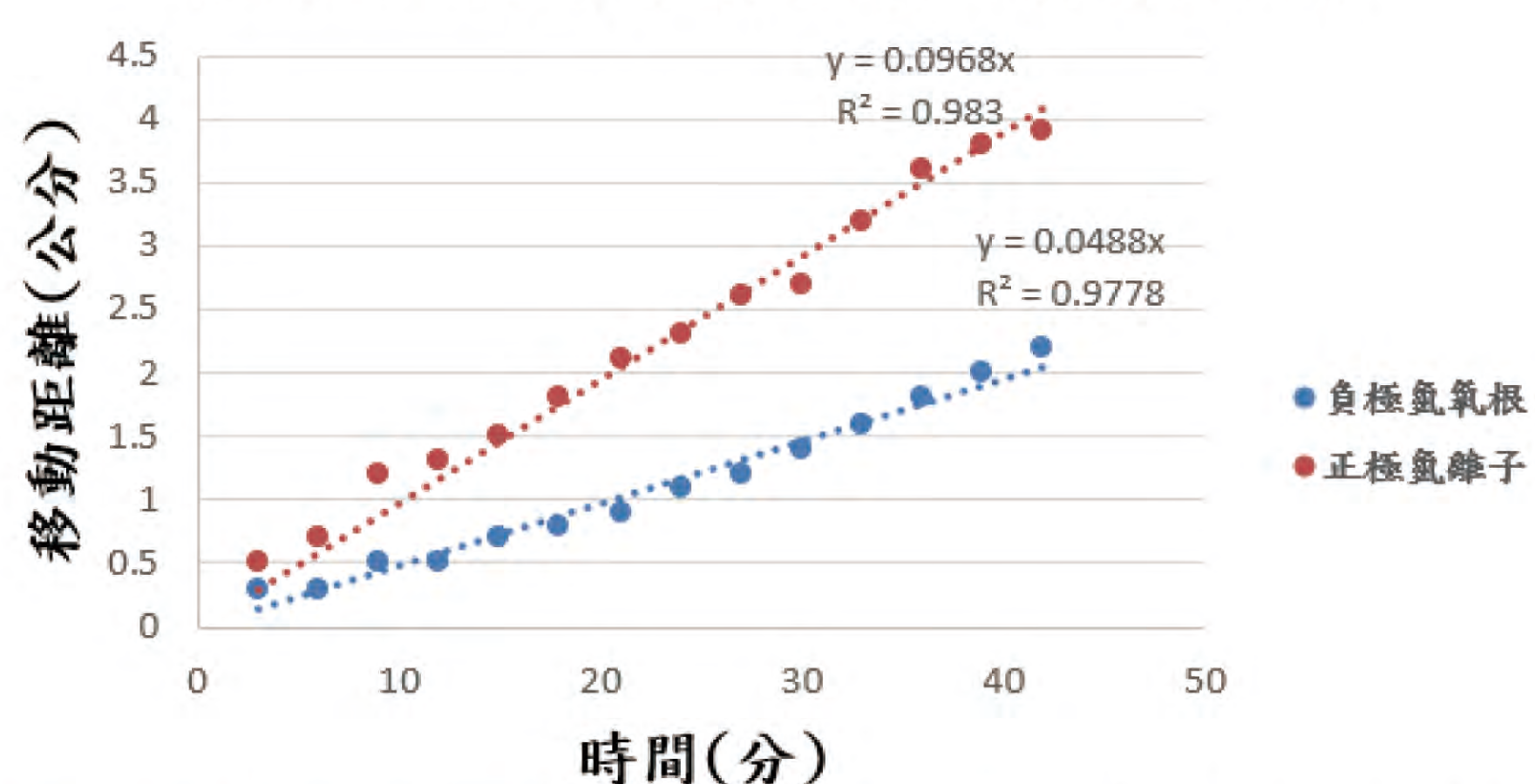
(3)高電場時，碘分子不帶電，不受外界之電壓影響，因此在移動加速度為負值 $-0.0012 \text{ (cm/min}^2)$ ，與低電場情形幾乎相同。

(五)計算離子於蝶豆花內部之遷移率

移動距離與時間關係圖(外接電壓10V)



移動距離與時間關係圖(外接電壓20V)



由 $V = \mu E$ ，求出當電場 E 為 $0.833V/cm$ 時，氫離子的遷移率 μ 為 $0.036 \text{ cm}^2/vs$ ，氫氧根的遷移率為 $0.022 \text{ cm}^2/vs$ ，電場為 $1.666V/cm$ 時，氫離子的遷移率為 $0.058 \text{ cm}^2/vs$ ，氫氧根的遷移率為 $0.029 \text{ cm}^2/vs$ ，與氫離子相較，氫氧根之遷移率較不受外加電場所影響，推論原因是氫氧根離子質量較大，速度變化量較小。

捌、參考資料及其他

一、電解質離子在電場中移動之探討·中學生網站·取自

<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2012/03/2012033014130565.pdf>

二、蝶豆花漸層飲料·中學生網站·取自

<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2016/11/2016111022462785.pdf>

三、離子趴趴走—更環保、更輕巧地進行電解、電鍍實驗·第四十五屆中小學科學展覽會·取自https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/45/high/0316_menu.htm

四、膠體電泳概述·科學Online 高瞻自然科學教學資源平台·取自<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=46532>