

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 化學科

探究精神獎

030203

凍析電解-以果凍取代電解液探討電荷流動方向

學校名稱：桃園市立福豐國民中學

作者： 國三 洪宥筠 國三 許名凱	指導老師： 謝弘毅 黃正源
-------------------------	---------------------

關鍵詞：電解、蝶豆花、果凍

摘要

本研究利用蝶豆花果凍進行電解。透過將電解質水溶液製作成果凍的方式，使溶液具有固定的形狀，不會隨意流動，且利用蝶豆花作為酸鹼指示劑，方便觀察電解時電極處所產生的酸性物質和鹼性物質，而酸性和鹼性物質讓指示劑顏色改變，藉此觀察果凍膠體內部離子的移動情形。透過電解蝶豆花果凍，能在電解實驗中觀察果凍明顯的變色，使人更加了解離子的流動方向，也能觀察電解實驗在電壓大小、電阻不同、路徑長短不同、同時有不同高低電壓在同一果凍時，離子的流動情形。我們發現電壓愈大，會使電解的速率加快，但是不會影響反應途徑。而在不同電壓中電解，離子會選擇往最高電壓方向移動。

壹、 研究動機

在八年級有一次上理化課時，做了電解實驗。在實驗過程中，老師提到電解質溶於水就會解離，而離子在電解時會向兩極移動。而有一次在網路上看影片時，無意間看到一支影片，標題非常聳動且令人想深入探究，就是「果凍在通電後會變色」！後來和老師討論後發現，影片中果凍變色的原因是，通電後電解產生酸性和鹼性物質，讓蝶豆花裡的花青素變色。且利用果凍加上指示劑的方式，更方便觀察離子的移動情形（利用具體的顏色變化情形得知），對於我們的學習有所助益，因此決定開始研究此主題。

貳、 研究目的

- 一、離子在蝶豆花水溶液中，電解時離子在非膠狀水溶液中的流動的觀察。
- 二、離子在蝶豆花果凍中，電解時電壓大小與電解速率的關係。
- 三、離子在蝶豆花果凍中，電解時路徑距離不同對離子流動情形。
- 四、離子在蝶豆花果凍中，電解時路徑重組對離子流動情形。
- 五、離子在蝶豆花果凍中，電解時不對稱電極對離子的流動狀況。

參、 前言

一、蝶豆花

蝶豆花為豆科植物，其中含有 Delphinidin（飛燕草素、翠雀花素、花翠素）（圖 1），為花青素的一種，本身為弱酸性（約 pH6.4）。因在阿瑞尼士酸性溶液中得到 H^+ ，在阿瑞尼士鹼性溶液中得到 OH^- ，所以在飛燕草素分子不同 pH 值中的溶液中有不同的原子組成，呈現不同顏色（圖 2）。

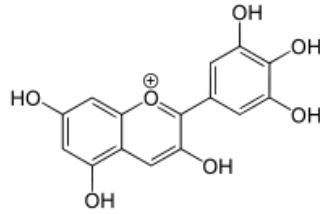


圖 1 Delphinidin 結構

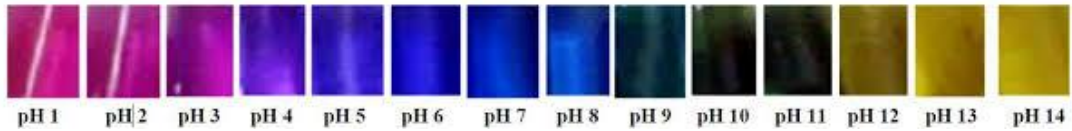


圖 2 蝶豆花在不同 pH 值下顏色變化圖

二、吉利 T

吉利 T 是由海藻膠（珊瑚藻、麒麟菜等紅藻中萃取）以及植物膠（蒟蒻、刺槐豆膠、鹿角菜膠等），需加熱至約攝氏 80 度至攝氏 90 度才會溶解，冷卻後凝固。

三、文獻回顧

1. 科學展覽會歷屆作品

表 1 歷屆科展文獻回顧整理表

作品名稱	屆次(年)	大綱
層層疊蝶-蝶豆花漸層效果的製作與探討	58 (2018)	在此實驗中，各蔬果抗氧化性比較，以蝶豆花最為顯卓。
電解水實驗的深入探討	48 (2008)	電解時電極間距加大，易觀察電極距離與電解速率的關係
紫蝶飛舞-抗氧新花現—蝶豆花抗氧化研究	57 (2017)	沖泡水溫愈高，蝶豆花茶抗氧化力愈高，沖泡 5 分鐘即可。
探討蝶豆花進行電解反應時內部離子與分子運動狀態	59 (2019)	於高電場時($E > 125V/m$)， H^+ 與 OH^- 為負向等加速度運動。
彩虹粉筆---探討以粉筆為載體電解水之顏色變換	57 (2017)	利用廣用試劑來觀察酸鹼中和時的慢動作。
哪個離子跑得快？	48 (2008)	膠體溶液和水溶液電阻不同。
“凍”未條！水果在放電～蕃茄「果凍」鋅銅乾電池	51 (2011)	水果榨汁後通電測得的電壓、電流值，較果肉高。
知識反饋歷程的試探-國中化學教科書中有關水的電解實驗改良芻議	16 (1976)	硫酸為電解液，碳棒為電極時，陽極會產生 CO_2 。
改良電解水的裝置並探討電解速率的影響因素。	54 (2014)	懸吊式電解速率快、易觀察電極距離與電解速率的關係。
水的電解實驗改進	17 (1977)	使用 3%~5%NaOH、電壓為 6V 電解效果佳。

2. 其他文獻

表 2 其他文獻回顧整理表

名稱	日期	大綱
綠色化學創意競賽：光華高中學生改良電解水實驗方便觀察離子移動	2015/07/09	高濃度 KNO_3 電解時會產生煙霧，且反應太過劇烈會造成碳棒上脫落成為碳粉。
蝶豆花的花花世界	2018/03/28	蝶豆花所含花青素，為此實驗食材中最高。
蔬果中的花青素功能與變色抗氧化	2017/11/17	在此實驗中，各蔬果抗氧化性比較，以蝶豆花最為顯卓。
蔬果變色－天然酸鹼指示劑	2012/02/03	若滴定終點呈弱酸性，僅能以花青素、紫紅色系蔬果當指示劑。
以紫色高麗菜為指示劑改良電解水實驗之研究	2009/04/02	使用紫色高麗菜汁可判斷電解時的酸鹼值。

肆、 實驗設備及器材

我們使用蝶豆花及吉利 T 粉做為果凍的原料，是因蝶豆花富含豐富的花青素，且在不同酸鹼的環境中變色易觀察，加上材料常見且取得方式較為簡單，故被我們選用。而我們因為工程用 2B 筆芯中含碳(惰性電極)量高，且軟硬度適中，裁切電極時不易碎裂，造成實驗誤差，故使用 2.0mm 工程用 2B 筆芯作為本實驗中所使用之電極。實驗設備及器材列於圖 3、圖 4。



圖 3 實驗藥品圖




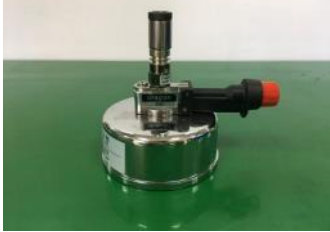






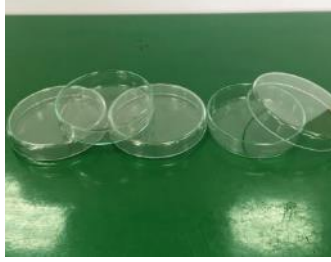

量筒	美工刀、剪刀	筆芯(電極)
		
本生燈	三腳架、陶瓷纖維網	電源供應器
		
鱷魚夾	9 伏特電池	碼表
		
長形模子(果凍模型)	圓形模子(果凍模型)	燒杯
		

圖 4 實驗設備及器材圖

伍、 研究過程及方法

本章節含實驗架構、原理及流程，說明如下：

一、實驗架構

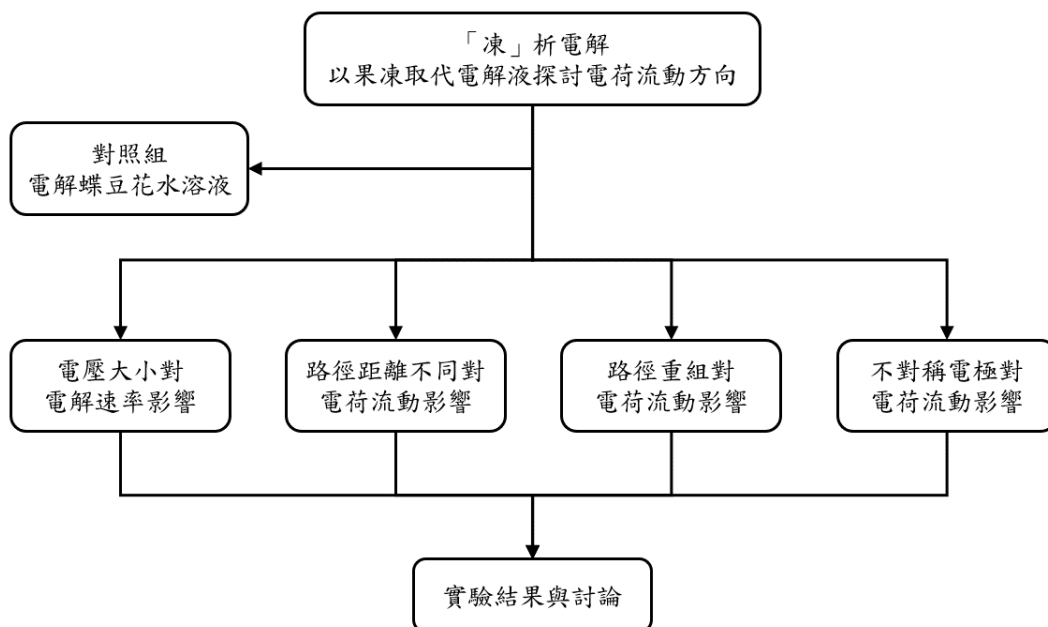


圖 5 實驗架構圖

二、實驗原理

我們以蝶豆花溶液中的水作為電解質，蝶豆花中的花青素作為酸鹼指示劑，其中利用水分子、水中微量物質通電後會解離、可導電的特性設置電解裝置，加上含有花青素的蝶豆花在不同酸鹼值環境中會改變顏色的特性，所以我們在水解離出 H^+ （或 H_3O^+ ）和 OH^- 時能透過蝶豆花顏色變化，而得知 H^+ （或 H_3O^+ ）和 OH^- 的游移範圍，進而設計本實驗以了解及驗證，電極周圍產生之電化學反應，是否如同課本或理論所敘述。

三、實驗流程

前置作業：蝶豆花果凍製作

器材：吉利 T、冷水熱水（取自飲水機，含有礦物質）、蝶豆花、燒杯、酒精燈、陶瓷纖維網、圓形容器、方形容

製作步驟：

1. 將兩包蝶豆花(約 4 克)加入熱水(約攝氏 75 度)100ml，將花青素溶於熱水中，製成蝶豆花水約 100ml。
2. 吉利 T 粉 25 克加入冷水(約攝氏 25 度)500ml，製成吉利 T 水約 500ml（須將吉利 T 均勻混合，以防果凍結塊，使物質分布不均，造成實驗誤差）。
3. 在 1000ml 燒杯中混合步驟 1、2 的蝶豆花水和吉利 T 水。
4. 將裝有蝶豆花水和吉利 T 水的燒杯置於陶瓷纖維網上，並利用本生燈加熱，加熱時持續攪拌，以防果凍結塊，避免後續實驗受影響。
5. 待燒杯中的溶液加熱至沸騰後，分裝到長形容器和圓形容器後，靜置半天，等待果凍凝固。
6. 果凍凝固後取出，將長條果凍切成數條等大小果凍備用。

實驗一：離子在非膠狀水溶液中流動情形的觀察

器材：蝶豆花水溶液、電源供應器、鱷魚夾、電極

實驗步驟：

1. 將蝶豆花水溶液裝入圓形容器。
2. 將電極固定在容器兩端（插入 1.5cm）（圖 6）。
3. 鱷魚夾接上電極和電源供應器(12 伏特)，通電後觀察離子流動情形。

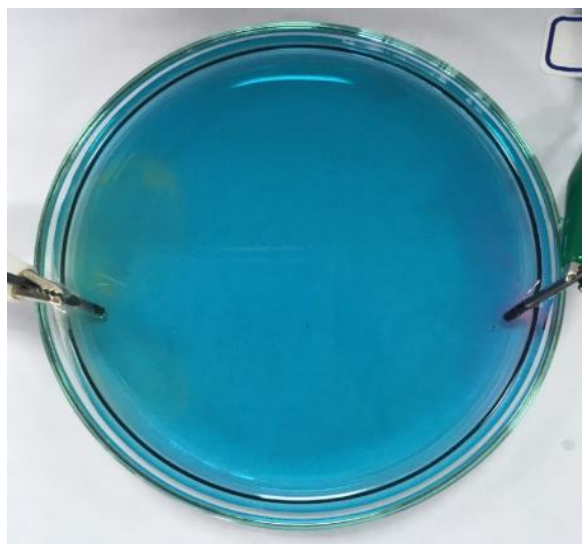


圖 6 離子在非膠狀水溶液中流動情形的觀察實驗裝置圖

實驗二：電壓大小與電解速率的關係

器材：長形果凍、9 伏特電池、電極、鱷魚夾、碼表

實驗步驟：

1. 將數條等長的小條長條果凍(2× 7× 2cm)兩端插入電極，兩端電極插入果凍的長度相等，且電極之間距離皆相等（約 5cm）。
2. 串連 9 伏特電池，形成分別為 9、18、27、36、45、54 伏特的電壓的 6 小組。再用鱷魚夾的一端接上電極（插入 1.5cm），另一端依序接上串連後的電池，且電壓分別為 9、18、27、36、45、54 伏特（圖 7）。
3. 通電後計時並觀察果凍顏色變化情形，待觀察自果凍上方觀察，兩端變色範圍交疊時，即停止計時，並記錄 9、18、27、36、45、54 伏特電壓的各小組所費時間。



圖 7 電壓大小與電解速率的關係實驗裝置圖

實驗三：路徑距離不同對離子流動情形的影響

器材：圓形果凍、9 伏特電池、電極、鱷魚夾

實驗步驟：

1. 將圓形果凍中間挖出一個圓形鏤空（直徑約 4cm）。
2. 將電極插入果凍（插入 1.5cm），使果凍形成一條較短（約 6cm）、一條較長（約 20cm）的電路（圖 8）。
3. 鱷魚夾接上電極和 4 顆串聯的電池（電壓共 36 伏特），通電後觀察顏色變化情形。

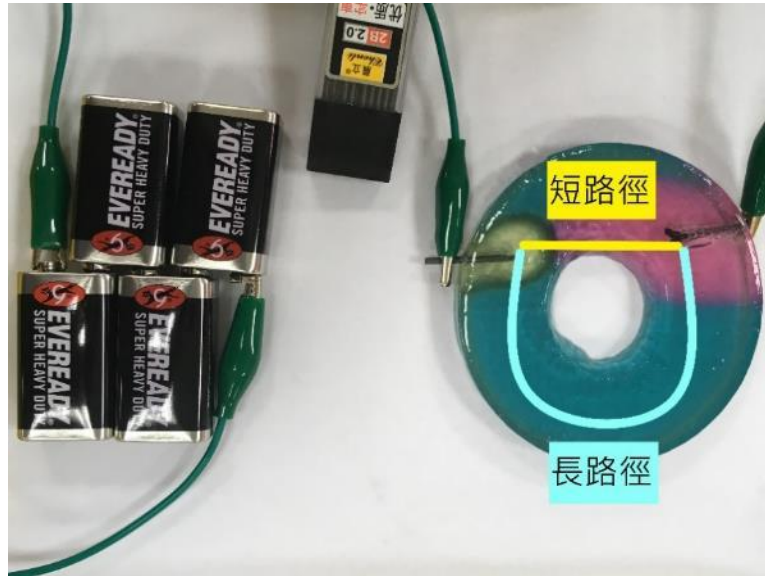


圖 8 路徑距離不同對離子流動情形的影響實驗裝置圖

實驗四：路徑重組對離子流動情形的影響

器材：圓形果凍、9 伏特電池、電極、鱷魚夾

實驗步驟：

1. 將圓形果凍對切一半，並將兩半圓果凍以果凍的半徑長接合。
2. 在兩半圓果凍上分別接上電極（插入 1.5cm）（圖 9）。
3. 鱷魚夾接上電極和 6 顆串聯的電池（電壓共 54 伏特），通電後觀察顏色變化情形。

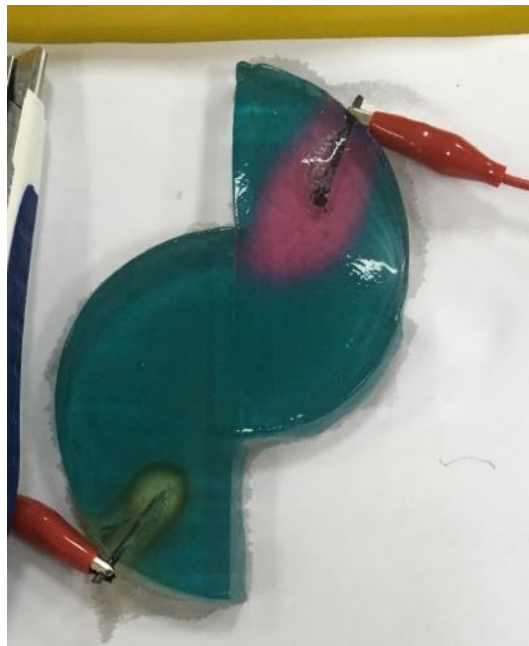


圖 9 路徑重組對離子流動情形的影響實驗裝置圖

實驗五：不對稱電極對離子流動情形的影響

器材：圓形果凍、9 伏特電池、電極、鱷魚夾

實驗步驟：

1. 在圓形果凍四邊皆上電極（插入 1.5cm），並使電極之間距離皆相等（圖 10-1、圖 10-2）。
2. 將實驗分為 a（電極順時針排列順序：9 伏特正極、9 伏特負極、36 伏特負極、36 伏特正極）、b（電極順時針排列順序：9 伏特正極、9 伏特負極、36 伏特正極、36 伏特負極）兩組，用鱷魚夾連接電極，並接上 9 伏特和 36 伏特電壓、正負極的電極。
3. 通電後觀察顏色變化情形。

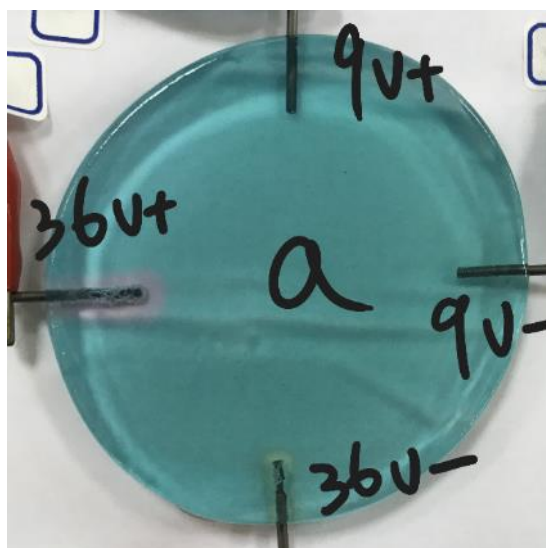


圖 10-1 不對稱電極對離子流動情形的影響 a 組實驗裝置圖

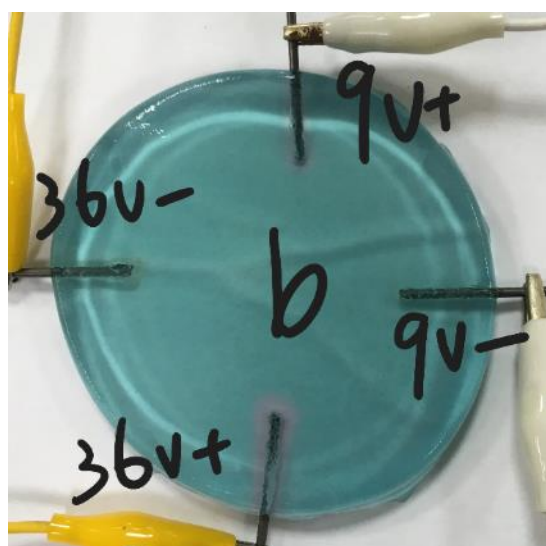


圖 10-2 不對稱電極對離子流動情形的影響 b 組實驗裝置圖

陸、 研究結果

實驗一：離子在非膠狀水溶液中流動情形的觀察

在水溶液的電解中，負極產生的氣泡較正極多，而顏色從電極所有接觸到水溶液的表面，往四面八方擴散，我們更發現粉紫色和綠色的變色範圍重疊，且由容器側邊觀察顏色分布情形，發現粉紫色部分在上方，綠色部分在下方（圖 11-1），將視角稍往上移動，若從綠色處往粉紫色處看，可發現明顯的分界線（圖 11-2），但若從粉紫色處往綠色處看，則發現交界線條柔和（圖 11-3），故我們推斷粉紫色分布範圍在綠色上方，且兩者有明顯的分界線。

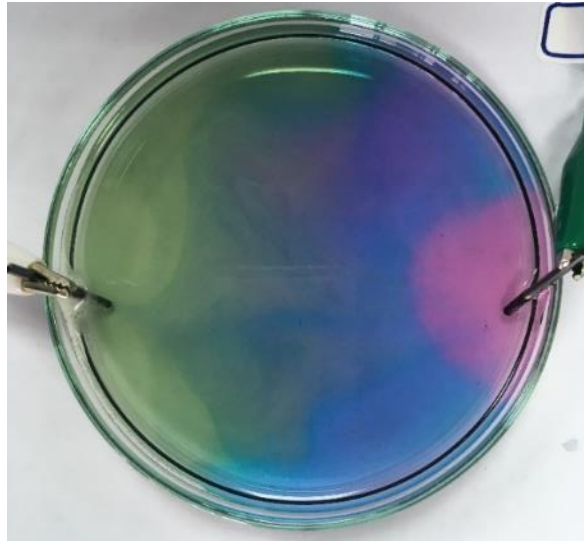


圖 11-1 離子在非膠狀水溶液中流動情形的觀察實驗結果俯視圖

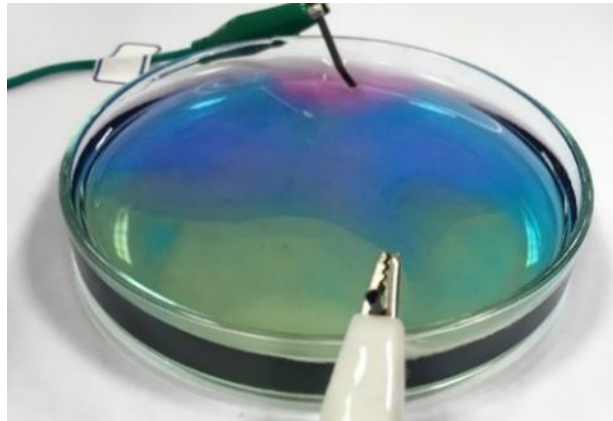


圖 11-2 離子在非膠狀水溶液中流動情形的觀察實驗結果左視圖
（由綠向粉紫看）

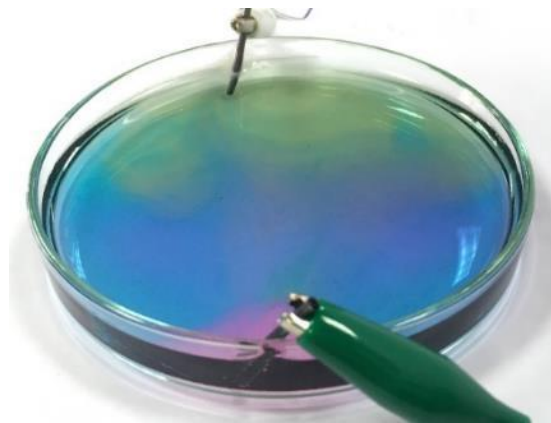


圖 11-3 離子在非膠狀水溶液中流動情形的觀察實驗結果右視圖
(由粉紫向綠看)

實驗二：電壓大小與電解速率的關係

根據實驗數據，我們發現在兩次實驗中，若提供的電壓愈大，紫色的變色範圍和綠色的變色範圍相交所需時間會愈短；反之，若提供的電壓愈小，紫色的變色範圍和綠色的變色範圍相交所需的時間會愈長（表 3）。我們亦發現，紫色的變色範圍和綠色的變色範圍相交所需的時間和電壓成正相關，但沒有成正比的關係。在實驗中，我們也發現，電解一段時間後，粉紫色範圍較綠色範圍大，而且無論提供的電壓如何，各組果凍粉紫色範圍和綠色範圍比例相同，粉紫色範圍和綠色範圍比例約為 3:1。當電解一段時間後，果凍兩側接電極處有膠狀物質流出，並且果凍兩側有明顯塌陷。在實驗過後，正極電極碎裂（圖 12）。

表 3 電壓大小與電解速率的關係表

電壓(V)	第一次實驗			第二次實驗		
	時間			時間		
	分鐘(sec)	秒鐘(sec)	毫秒(ms)	分鐘(sec)	秒鐘(sec)	毫秒(ms)
9	28	43	54	34	02	26
18	15	26	07	13	17	89
27	11	39	03	10	23	13
36	7	15	66	09	00	56
*45				06	52	74
*54				05	46	49

*註：因第一次實驗未做 45 伏特、54 伏特二組，故無實驗數據。



圖 12 正電極碎裂圖

實驗三：路徑距離不同對離子流動情形的影響

我們發現，離子大多會優先流經短路徑（圖 13-1），在同一時間點，短路徑粉紫色範圍明顯比長路徑之粉紫色長。但是拉長電解時間後，發現亦有少部分的離子會選擇流經長路徑（圖 13-2），長路徑的粉紫色範圍漸漸變大，我們也推測，若給予足夠的時間電解果凍，長路徑能完全變成粉紫色。而且，在電解一段時間過後，粉紫色和綠色的交接處斷裂，使果凍兩色交界處有裂縫，若電解足夠的時間，兩色交界處的斷裂面可斷裂至分離的程度。

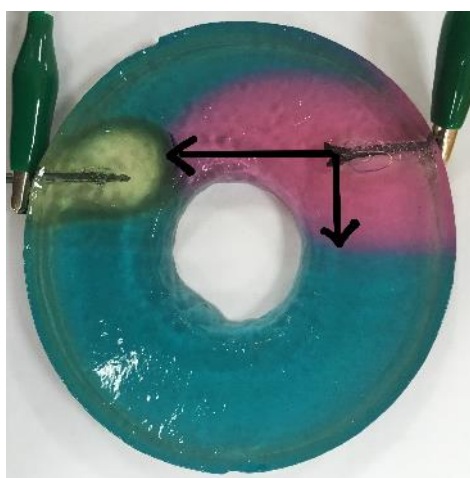


圖 13-1 路徑距離不同對離子流動情形的影響實驗過程俯視圖
(離子先走短路徑)

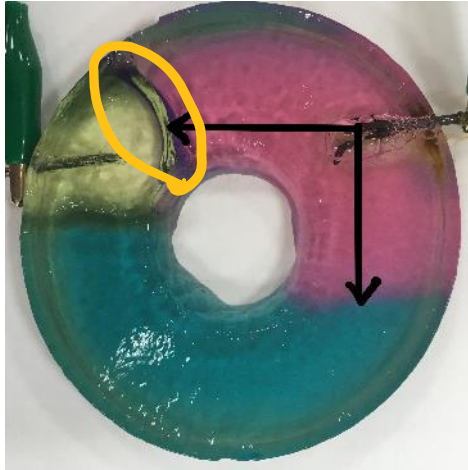


圖 13-2 實驗三路徑距離不同對離子流動情形的影響實驗過程俯視圖
(時間延長，會有離子走長路徑、兩色交界斷裂)

實驗四：路徑重組對離子流動情形的影響

雖然果凍並非一體成形，果凍中間被切開後再重組，但是兩個半圓果凍拼接後仍可通電，並進行電解實驗。我們亦由粉紫色的變色範圍得知，離子流動的路徑非由兩電極連線的直線（圖 14），而是在兩片果凍的交接處先偏轉後，再繼續直行。正離子先按照兩電極連線的直線路徑行走約四分之一片果凍後，往另半片果凍偏轉約 30° ，之後再繼續往前，並在插有負極電極的果凍上與綠色範圍有交界面。



圖 14 路徑重組對離子流動情形的影響俯視圖

實驗五：不對稱電極對離子流動情形的影響

在 a 組（電極順時針排列順序：9 伏特正極、9 伏特負極、36 伏特正極、36 伏特負極）的實驗中，很明顯的觀察到同極離子會相互排斥，無論是粉紫色還是綠色，兩塊同色的範圍（同極的離子）之間會有明顯的間距（排斥）。而在 b 組（電極順時針排列順序：9 伏特正極、9 伏特負極、36 伏特正極、36 伏特負極）的實驗中，我們除了發現同極的離子會相互排斥以外，亦發現離子大多會傾向往高電壓（36 伏特正極和 36 伏特負極）的方向流動（圖 15-1、15-2）。

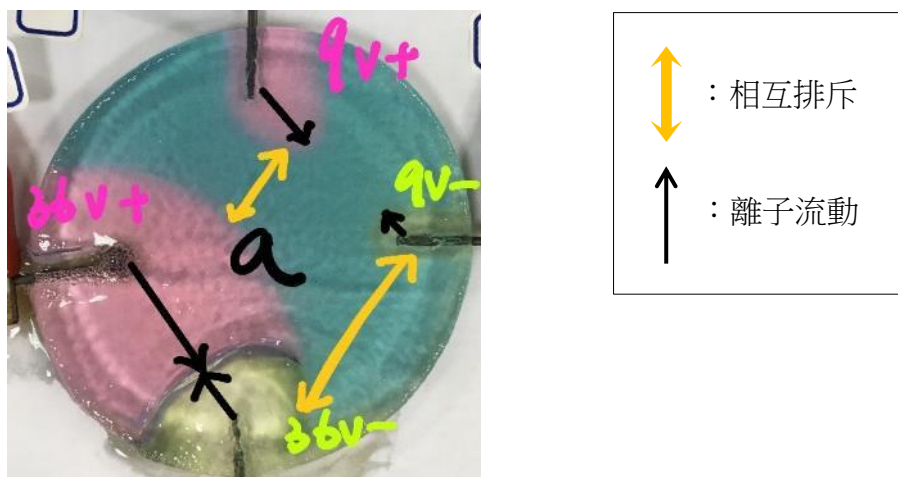


圖 15-1 不對稱電極對離子流動情形的影響 a 組實驗結果圖

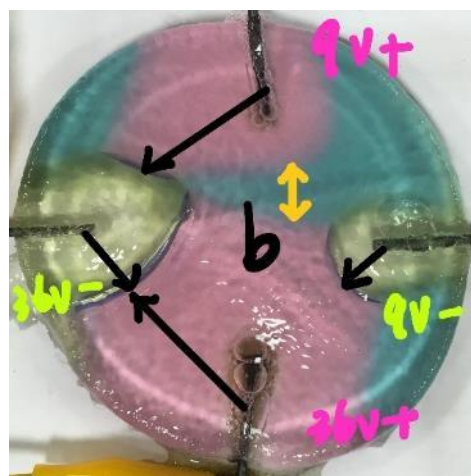


圖 15-2 不對稱電極對離子流動情形的影響 a 組實驗結果圖

柒、 討論

實驗一：離子在水溶液中流動情形的影響

我們推測水溶液電解時，正、負電極發生之電化學反應是分別為，正極： $2H_2O \rightarrow 4e^- + O_2 + 4H^+$ ，即將水的解離視為： $H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$ （亦可能為： $6H_2O \rightarrow 4e^- + O_2 + 4H_3O^+$ ，即將水的解離視為： $2H_2O \rightarrow H_3O^+ + OH^-$ ），負極： $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ ，將正負極的反應式合併後，得到總反應式： $6H_2O + 4e^- \rightarrow 4e^- + 2H_2 + 4OH^- + O_2 + 4H^+$ （亦可能為 $10H_2O + 4e^- \rightarrow$

$4e^- + 2H_2 + 4OH^- + O_2 + 4H_3O^+$)，根據亞佛加厥的分子說，氣體的體積比等於粒子數比，亦等於莫耳數比，也就是係數比，經過遞移律後得知，氣體之體積比等於反應式中的係數比，而從反應式中得知氫氣和氧氣的係數比為2:1，由此得知理論上產生出的氣體中，氫氣比較多，驗證得此實驗負極產生的氣泡較多。

由於指示劑為液體，不具有固定體積且會流動，故顏色會往四面八方擴散，則是因為電極為圓柱體，而水也在電極的四面八方，所以電極周圍皆可能發生電解反映，進而顯示出蝶豆花指示劑之酸鹼顏色。

而粉紫色和綠色產生的交界面，粉紫色在上，綠色在下，則是因為粉紫色為酸性，有 H^+ (或 H_3O^+)，綠色為鹼性，有 OH^- ，因為 H^+ 的密度小於 OH^- ，所以粉紫色 H^+ 浮在上面，綠色(OH^-)沉在下面。

實驗二：電壓大小與電解速率的關係

以測得的實驗數據計算出我們所需的數據，並加以分析後(表4)，將數據繪製折線圖，再計算出其 R^2 數值，進而畫出合適的趨勢線，找出各張關係圖中，實驗數據之間的關係，並分析其趨勢。我們發現電壓和時間成指數關係，而且電壓愈大，所費時間愈短，且電壓與電解的時間呈指數關係(圖16-1、16-2)，且提供的電壓愈高，電解的速率愈快，兩者呈線性關係(圖17-1、17-2)，另外，電壓和正比指標成指數關係，並且電壓愈高，正比指標的數值愈大(圖18-1、18-2)。我們亦發現粉紫色範圍明顯較綠色範圍大，推測是因為蝶豆花本身為弱酸性，蝶豆花和電解時產生的鹼性物質發生酸鹼中和反應，讓綠色的範圍比粉紫色的範圍小，也推測是因為酸性物質中含有的 H^+ 離子較鹼性物質中含有的 OH^- 輕，所以 H^+ 之移動速度較快，進而使粉紫色範圍較綠色大，抑或兩種因素相輔相成，使粉紫色範圍較綠色範圍大的情形更加顯著。我們還發現各組果凍粉紫色範圍和綠色範圍比例相同約3:1(圖19)，推測此現象是因電壓大小會影響電解速率，以及實驗的時間長短，並不影響反應最終結果。在通電時，兩側的電極會有些能量以熱能的形式散失，讓果凍接電極處的溫度上升，達一定溫度時，果凍開始融化，使得融化成膠狀的果凍流出，進而造成果凍兩側塌陷。而因正極的反應式為： $2H_2O \rightarrow 4e^- + O_2 + 4H^+$ (亦可能為 $6H_2O \rightarrow 4e^- + O_2 + 4H_3O^+$)，在正極電極處產生氧氣，與正極之主成分為碳的電極發生氧化還原反應，造成正極電極碎裂之情形。

表 4 電壓大小與電解速率的關係實驗速率、正比指標、反比指標整理表

電壓(V)	第一次實驗			第二次實驗		
	時間(sec)	速率(1/sec)	*1 正比指標(V/sec)	時間(sec)	速率(1/sec)	正比指標(V/sec)
9	1723.54	0.00058	0.005221811	2042.26	0.00049	0.004406883
18	926.07	0.00108	0.019436976	797.89	0.00125	0.022559501
27	699.03	0.00143	0.038624952	623.13	0.0016	0.043329642
36	435.66	0.0023	0.082633246	540.56	0.00185	0.066597602
*245				412.74	0.00242	0.109027475
*254				346.49	0.00289	0.155848654

*註 1：正比指標係指該電壓情況下，時間和電壓之比值。

*註 2：因第一次實驗未做 45 伏特、54 伏特二組，故無實驗數據，以及其後續導出數據。

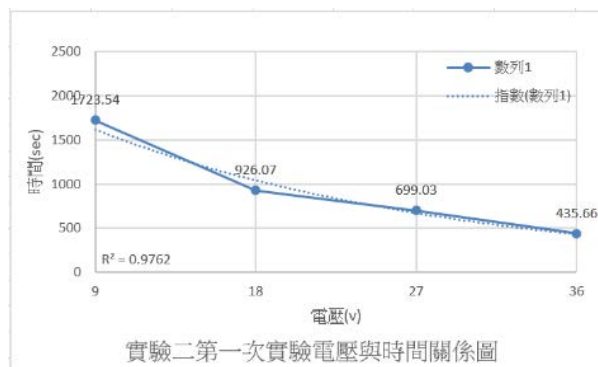


圖 16-1 電壓大小與電解速率的關係第一次實驗電壓與時間關係圖

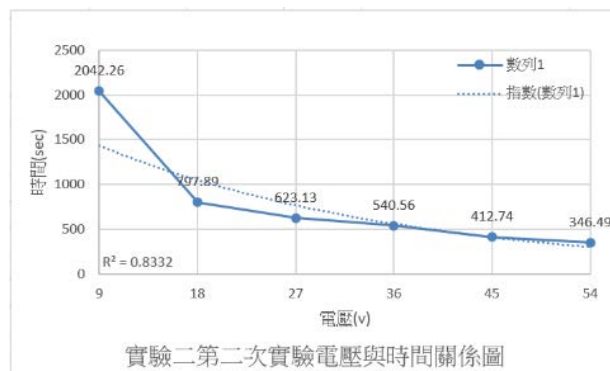


圖 16-2 電壓大小與電解速率的關係第二次實驗電壓與時間關係圖

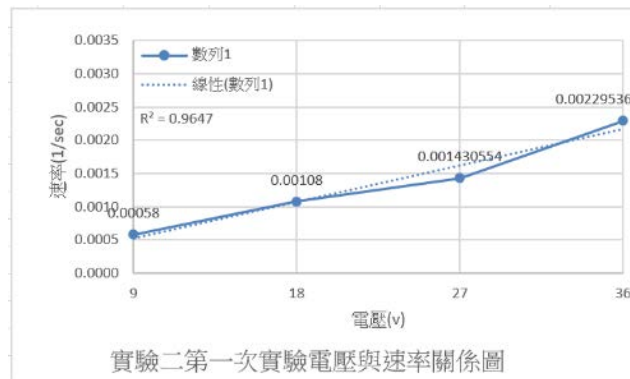


圖 17-1 電壓大小與電解速率的關係第一次實驗電壓與速率關係圖

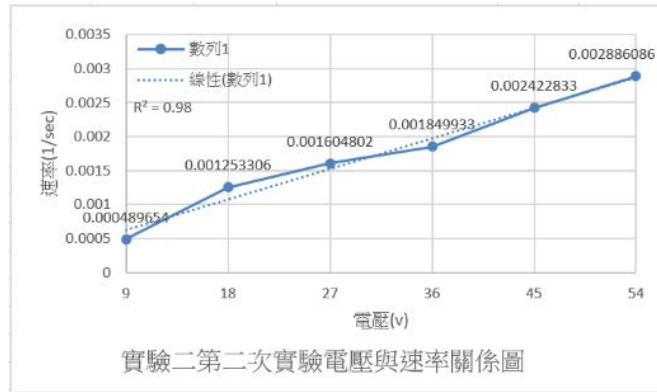


圖 17-2 電壓大小與電解速率的關係第二次實驗電壓與速率關係圖

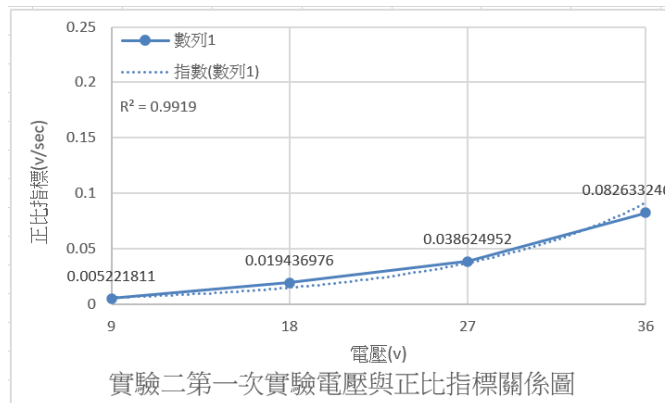


圖 18-1 電壓大小與電解速率的關係第一次實驗電壓與正比指標關係圖

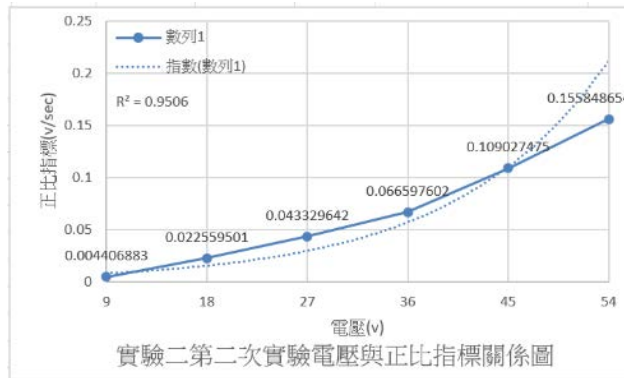


圖 18-2 電壓大小與電解速率的關係第二次實驗電壓與正比指標關係圖



圖 19 電壓大小與電解速率的關係實驗各組顏色分布圖

實驗三：路徑距離不同對離子流動情形的影響

我們發現，在電解剛開始進行時，離子大多流經較短的途徑（圖 20-1），但若在短途徑粉紫色、綠色相碰後持續電解，將電解的時間拉長，發現仍有離子會流經長途徑（圖 20-2）。因為 $R(\text{電阻}) \propto \rho(\text{電阻率})$ 、 $R(\text{電阻}) \propto L(\text{長度})$ 且 $R(\text{電阻}) \propto \frac{1}{A(\text{截面積})}$ ，因為短路徑和長路徑之材質皆為果凍，且果凍處處等高，推得短路徑和長路徑之 $\rho(\text{電阻率})$ 和 $A(\text{截面積})$ 相等，所以得知短路徑的電阻較小、電流較大，所以一開始會有較多離子流經；而長路徑的電阻較大、電流較小，但並非無電流，所以仍會有較少量離子流過。粉紫色與綠色的變色部分交接處產生斷裂面，是由於我們進行電解的時間較長，粉紫色和綠色早已接觸到的短途徑持續通電，讓酸性物質和鹼性物質長時間相碰，兩者發生酸鹼中和反應，放出熱能，加上電解本身亦是放熱反應，使得果凍融化，造成果凍分離、有裂縫，使用實驗二時所用的長條果凍進行長時間電解，亦得到與此實驗中相同產生有裂縫的分離現象（圖 21）。

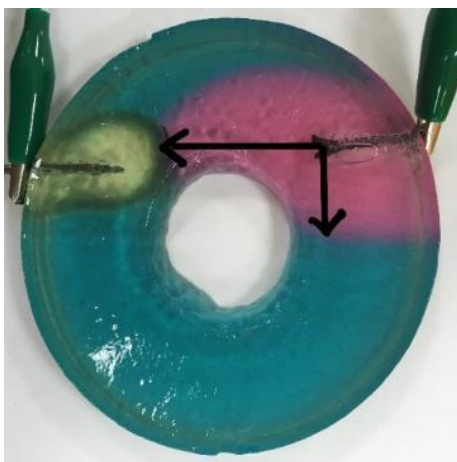


圖 20-1 路徑距離不同對離子流動情形的影響實驗過程俯視圖
(離子先走短路徑)

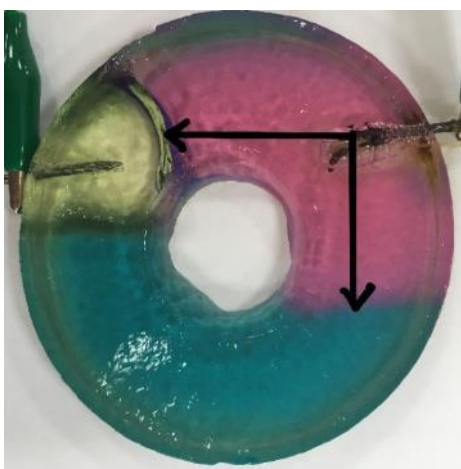


圖 20-2 路徑距離不同對離子流動情形的影響實驗過程俯視圖
(時間延長，會有離子走長路徑)



圖 21 路徑距離不同對離子流動情形的影響實驗結果俯視圖
(兩色交界處斷裂)

實驗四：路徑重組對離子流動情形的影響

雖然我們使用拼接、重組後的果凍進行實驗，但仍可以通電，實驗正常進行，且由顏色分布可得知，離子也可流向另一片果凍。在我們查詢資料後，知道果凍是由液體分散質（水），以及固體分散劑（藻多醣類）所組成，兩片果凍拼接時，雖然果凍的主體結構已有破壞(切斷)，但是其中的液體水可以相互流動，所以解離在水中的離子可隨著兩片果凍之間水的交換，使得離子到達另一片果凍，進而導電。實驗四中印證離子在水中解離，隨著形狀不固定的液體流動，進而導電，使電路產生迴路。而我們推測果凍內離子路徑非直線的原因，亦是因為果凍組成結構的原由，我們因為將果凍對半切，並重新拼接，我們在拼接時無法使交界面的果凍主體結構拼接恢復原本未對半切時完好如初的狀態，造成果凍中液體分散質(水)在游移時有偏轉的情形（圖 22）。



圖 22 路徑重組對離子流動情形的影響實驗結果俯視圖

實驗五：不對稱電極對離子流動情形的影響

在 a 組（電極順時針排列順序：9 伏特正極、9 伏特負極、36 伏特負極、36 伏特正極），我們發現 9 伏特正極處的離子會往 9 伏特負極的方向擴散，而 9 伏特負極處的離子會往 9 伏特正極的方向擴散，形成 9 伏特正、負極處的離子往另一方的方向流動之情形，且 9 伏特正極處的離子以及 9 伏特負極處的離子，分別與 36 伏特正極處的離子、36 伏特負極處的離子相互排斥；36 伏特正極和 36 伏特負極處的離子移動情形與電壓為 9 伏特時相同（圖 23-1），所以我們發現在在電解時，同性離子會像同性磁極一樣相互排斥。

在 b 組（電極順時針排列順序：9 伏特正極、9 伏特負極、36 伏特正極、36 伏特負極）中，我們發現無論是 9 伏特正極還是 36 伏特正極處的離子，皆往 36 伏特負極的方向移動；無論是 9 伏特負極還是 36 伏特負極處的離子，皆往 36 伏特正極的方向移動（圖 23-2），所以我們發現電壓愈高，對離子的吸引力愈高。也發現 9 伏特正極和 36 伏特正極所變色範圍，有相互排斥的情形，形成鴻溝，印證實驗五 a 組實驗中的發現。

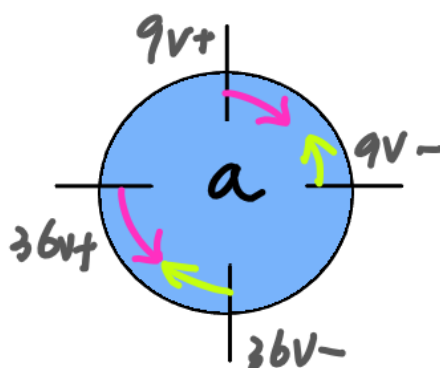


圖 23-1 不對稱電極對離子流動情形的影響 a 組實驗結果離子趨勢簡圖 ^a

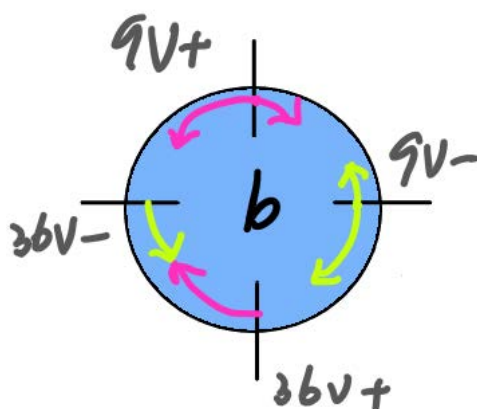


圖 23-2 不對稱電極對離子流動情形的影響 b 組實驗結果離子趨勢簡圖

捌、 結論

- 一、在實驗一，由綠色範圍和粉紫色範圍的交界面可以發現，粉紫色的部分在上，變成綠色的部分在下，是因為兩極所帶離子的密度不同造成。
- 二、在實驗二，提供的電壓愈大，電解時的反應速率愈快，且不影響反應後粉紫色和綠色的顏色分布比例和結果。所以若在進行觀察實驗最後呈現狀態，與時間長度無關的實驗，想縮短實驗所花費的時間，可直接加大電壓，使速率增加，且不需要擔心實驗的最終結果會造成影響。
- 三、在實驗三，因為路徑的長短與電阻、電流大小有關係，導致大多數的離子會選擇流經電阻小、電流大的短途徑，較少數離子選擇流經電阻較大、電流較小的長途徑。
- 四、在實驗四，使用拼接過後的果凍仍可正常電解，前提為果凍內的電解質水溶液能相互流動。
- 五、在實驗五，當兩電極為異極時，電壓較高者，較容易吸引離子，可觀察到往較高電壓處的變色距離較遠、範圍較廣。
- 六、在實驗五，同性離子會相互排斥，在果凍中會呈現一塊無變色、維持藍色的部分；異性離子會相互吸引，其變色範圍會明顯往有異性離子處延伸、擴大，和磁鐵同樣具有同性相吸、異性相斥的現象。
- 七、在實驗二至實驗五中發現，因為酸鹼中和以及電解皆為放熱反應，加上果凍不耐熱，造成粉紫、綠兩色交界處果凍融化，呈現斷裂面，在果凍接電極處亦有果凍融化，造成塌陷，我們更推測實驗時有可能因果凍融化、流失，造成電極未觸碰到果凍，使得電解中斷，所以我們希望能找到或是做出耐熱度高一些的果凍，讓我們的實驗更加順利。此項實驗可以是我們未來的研究方向。

玖、 參考文獻

1. LIS 情境科學教材 (2018/08/27)。電解-果凍通電竟然會變色！。
2. 陳恆毅、陳怡仁、周育柔、陳冠綺、林千程 (2015/07/09)。綠色化學創意競賽：光華高中學生改良電解水實驗方便觀察離子移動。
3. 董千棋、李若瑜、董宜亭、盧宣妘 (2018)。層層疊蝶-蝶豆花漸層效果的製作與探討。
4. 楊斯羽、李致穎 (2008)。電解水實驗的深入探討。
5. 連羿竑、陳彥叡、江紹宇、勵承廷、宋芮妮 (2017)。紫蝶飛舞-抗氧新花現—蝶豆花抗氧化研究。
6. 許董雯、黃美榕、黃昭寧 (2019)。探討蝶豆花進行電解反應時內部離子與分子運動狀態。
7. 梁芷綾、梁軒綾、彭靖珺 (2017)。彩虹粉筆---探討以粉筆為載體電解水之顏色變換。

8. 洪玫英、呂宜靜、陳玟凌、張祖禎 (2008)。哪個離子跑得快？。
9. 潘建達、曾揚傑、劉承翰 (2011)。“凍”未條！水果在放電～蕃茄「果凍」鋅銅乾電池。
10. 曾莉雲等八人 (1976)。知識反饋歷程的試探-國中化學教科書中有關水的電解實驗改良芻議。
11. 簡郁芬、郭雨柔、李怡廷 (2004)。改良電解水的裝置並探討電解速率的影響因素。
12. 陳信夫、許文勝 (1977)。水的電解實驗改進。
13. 鄭茜如 (2011/04/07)。化學情境試題：色彩鮮豔的花青素 (Colorful Anthocyanins) [I]
14. LIS 情境科學教材 (2018/08/27)。電離說-阿瑞尼士。
15. 彭茹澍 (2018/03/28)。蝶豆花的花花世界。
16. 洪祥銘、張逸雍 (2017/11/17)。蔬果中的花青素功能與變色抗氧化。
17. 林思有、陳韋志、楊順欽 (2012/02/03) 蔬果變色－天然酸鹼指示劑。
18. 劉宇芳、曾寶瑾、蔡雅琪 (2009/04/02)。以紫色高麗菜為指示劑改良電解水實驗之研究。
19. Saptarini, N, M., Suryasaputra, D., Nurmalia, H. (2015) Application of Butterfly Pea (*Clitoria ternatea*Linn) extract as an indicator of acid-base titration. *J. chem. Pharm. Res.*, 2015, 7(2):275-280
20. 財團法人豐食公益飲食文化教育基金會。洋菜粉、吉利 T 粉和吉利丁粉(片)有什麼不同？。

【評語】 030203

利用蝶豆花果凍顏色的移動，探討於各種不同電解條件中的電解現象。包括：一、離子在非膠狀水溶液中流動情形的觀察；二、電壓大小與電解速率的關係；三、路徑距離不同對離子流動情形的影響；四、路徑重組對離子流動情形的影響；五、不對稱電極對離子流動情形的影響。此水溶液電解時顏色產生暈散，所以能更清晰的觀察，頗具創意，若能加強說明此研究之特色，將更具價值。

作品簡報

中華民國第62屆中小學科學展覽會

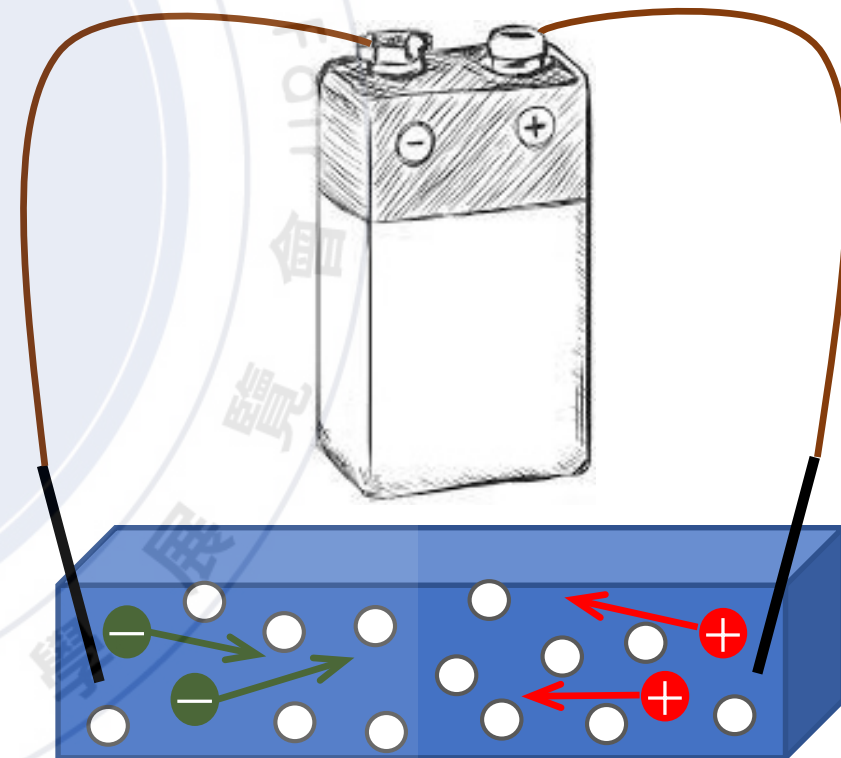
凍析電解

——以果凍取代電解液探討電荷流動方向

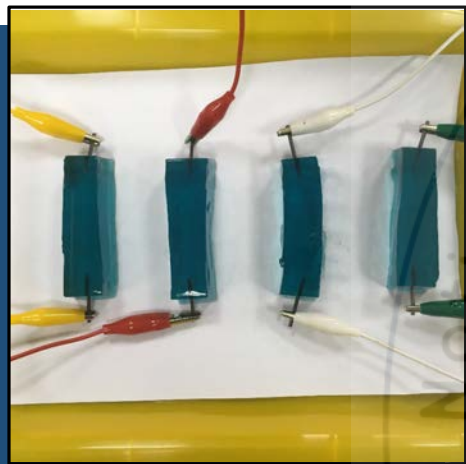
國中組 化學科

研究動機

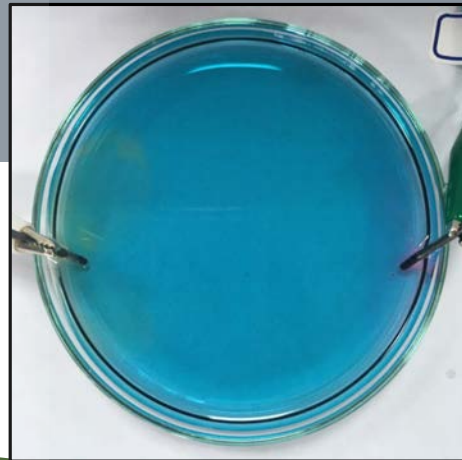
有一次看到一支影片，標題是「果凍在通電後會變色」！跟老師討論後了解是電解實驗的延伸。不同於以往的電解實驗，利用果凍的特性降低了電解液移動的自由度，電解時產生的酸性和鹼性物質，使蝶豆花裡的花青素變色，如此便可具體呈現電解時離子的移動情形。用這個方法能以肉眼觀察，輔助理解「電荷流動」這個抽象概念，因此決定開始研究此主題。



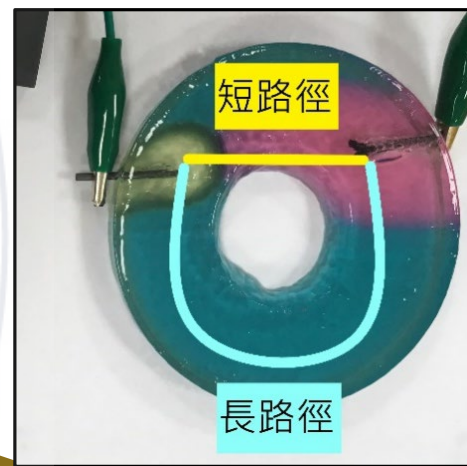
研究過程及方法



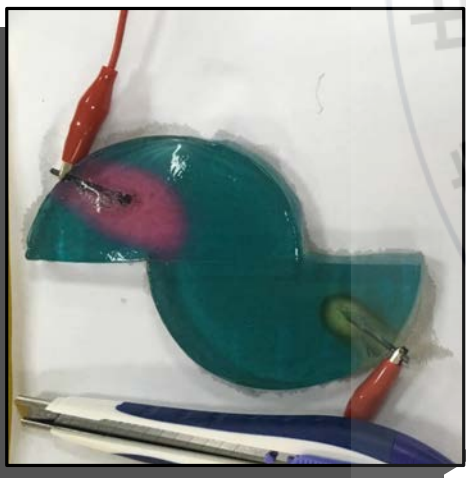
實驗一：
離子在非膠狀水溶液中流動情形的觀察



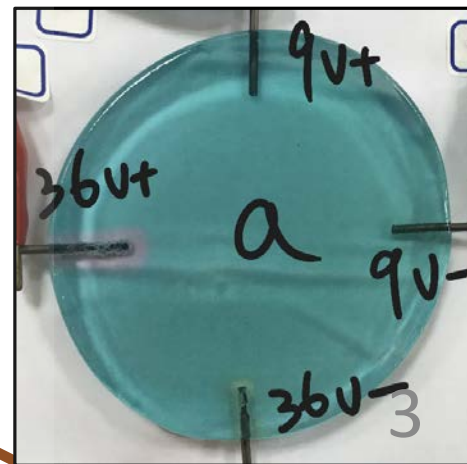
實驗二：
電壓大小與電解速率的關係



實驗三：
路徑距離不同對離子流動情形的影響



實驗四：
路徑重組對離子流動情形的影響



實驗五：
不對稱電極對離子流動情形的影響

實驗設備及器材

蝶豆花



吉利T



燒杯



本生燈



長型模具



圓型模具



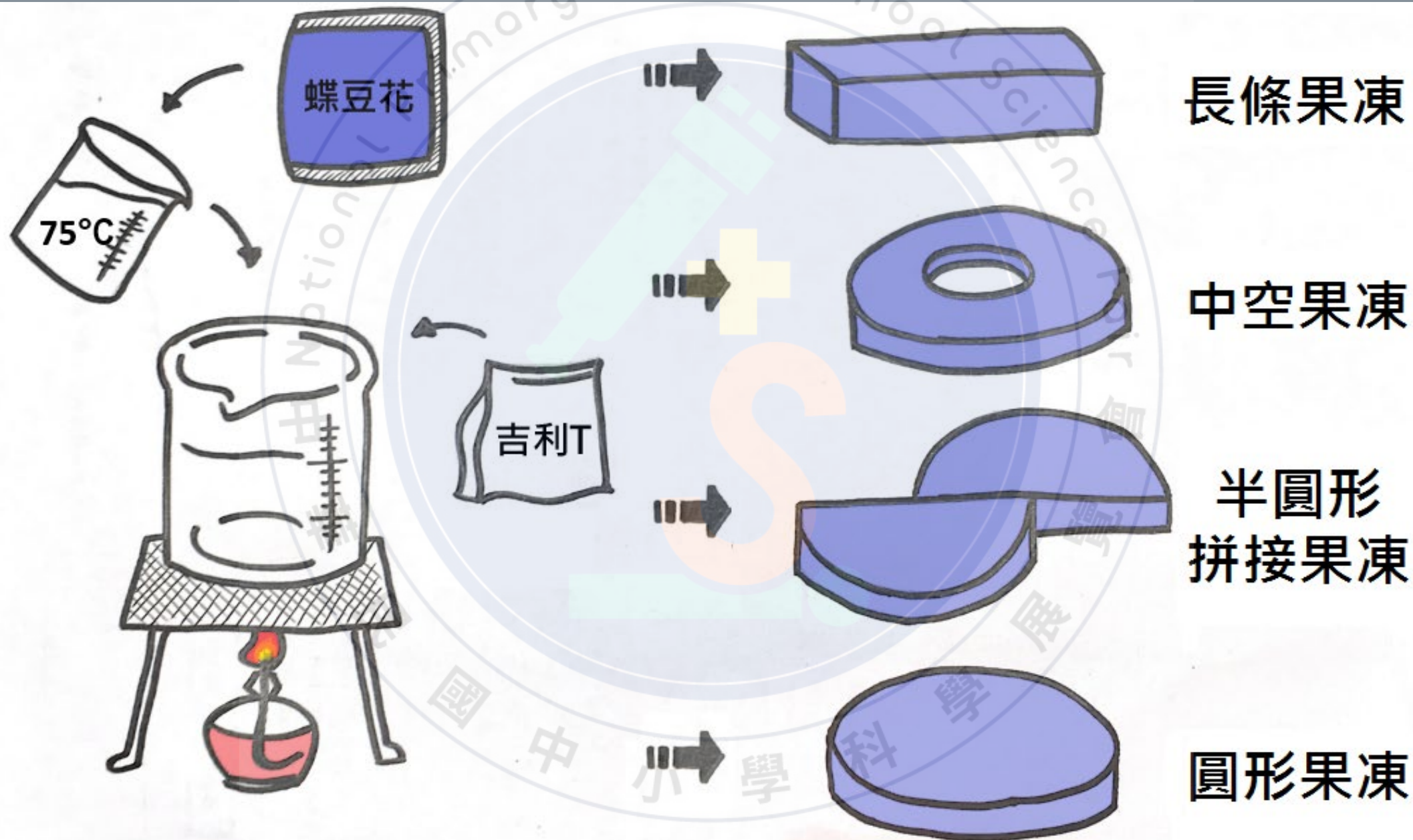
9V電池



電極(筆芯)



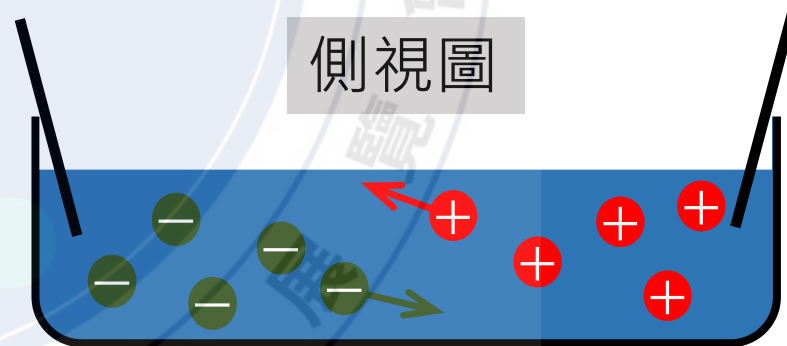
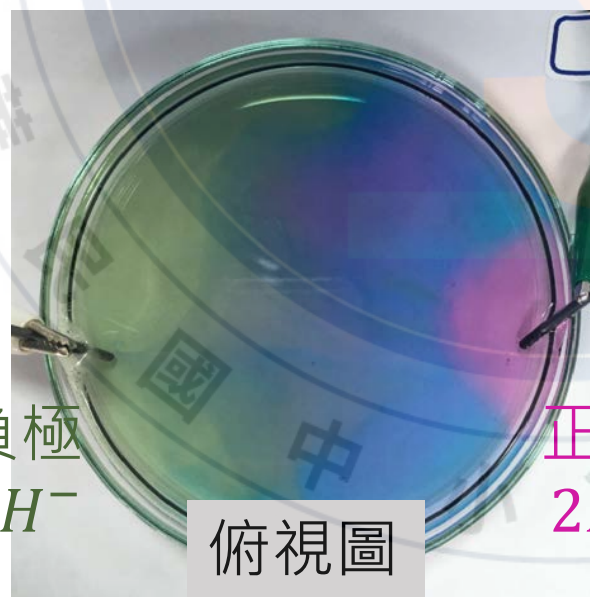
實驗設備及器材



研究結果與討論

實驗一：離子在非膠狀水溶液中流動情形的觀察

1. 正極產生酸呈粉紫色；負極產生鹼呈綠色。顏色分布不規則。
2. 負極產生的氣泡較多，與反應式結果相同。
3. 側視發現變色範圍重疊處，粉紫色在上方，綠色在下方，推測是因離子重量不同。



負極

正極：



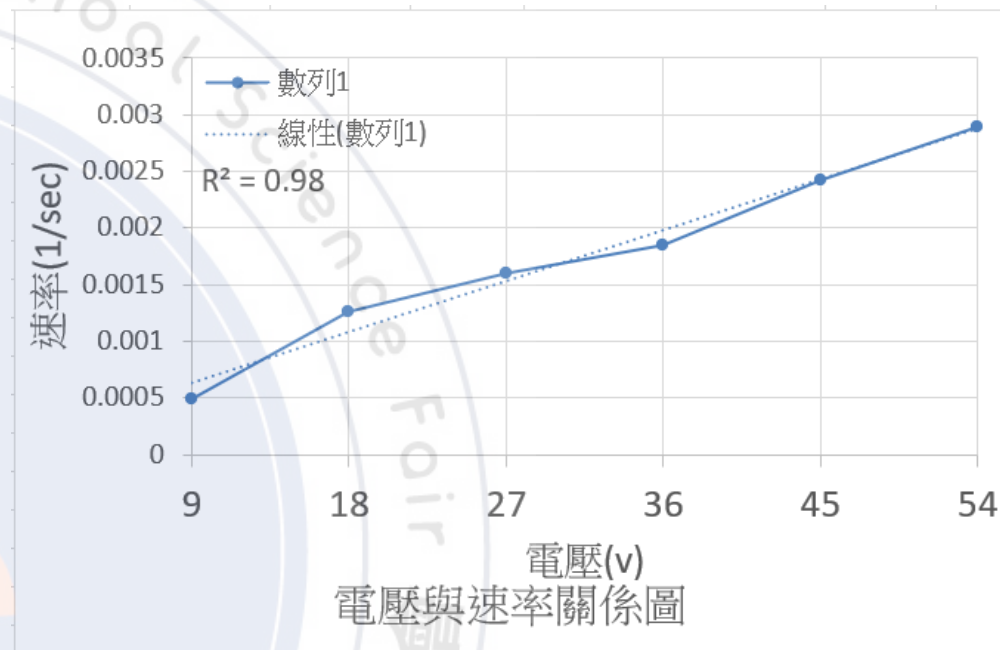
Fig. Color change of the butterfly pea extract



研究結果與討論

實驗二：電壓大小與電解速率的關係

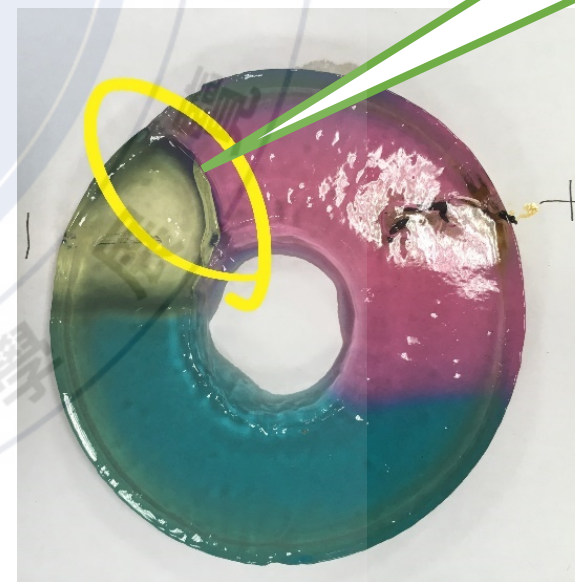
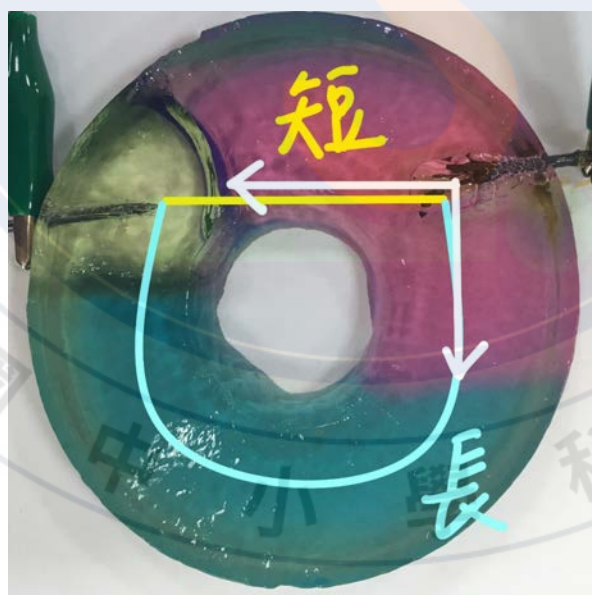
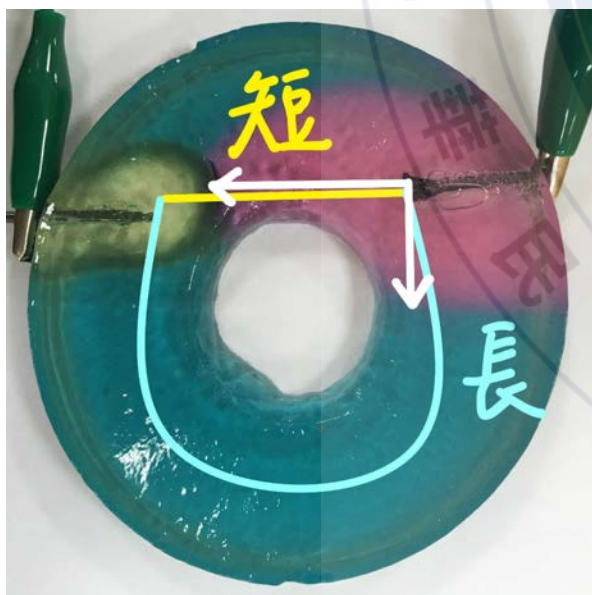
1. 根據數據分析，發現電壓和速率呈線性關係，**電壓愈高，電解速率愈快**。
2. 範圍：**粉紫色 > 綠色**，推測因：
① 離子大小： $H^+ < OH^-$ ，推得離子移動距離： $H^+ > OH^-$ ，② 蝶豆花為弱酸性，中和部分鹼性物質。
3. 無論電壓大小，兩色範圍比例相同，推測**電壓大小不影響結果**。



研究結果與討論

實驗三：路徑距離不同對離子流動情形的影響

1. 電荷大多會優先流經**短路徑**，因其**電阻小**。但亦有**少部分**的電荷會選擇流經**長路徑**。
2. 拉長電解時間後，發現兩色交界處**斷裂**，因正負離子接觸發生酸鹼中和，放出熱能，融化果凍。



酸鹼中和放熱
果凍斷裂處

研究結果與討論

實驗四：路徑重組對離子流動情形的影響

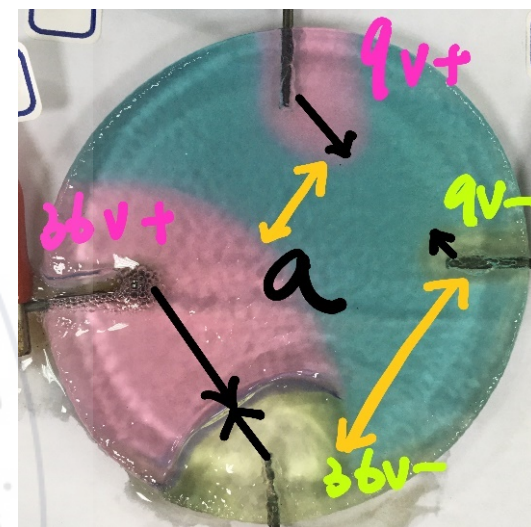
1. 若果凍由兩個完全切斷的半圓形果凍**重組**，電解反應**仍可發生**。
2. 由變色範圍得知，電荷流動**路徑非直線**，推測是因拼接面導致結構差異所致。
3. 果凍由液體分散質（水），及固體分散劑（主體結構）組成，果凍拼接時，電解質仍可流向另一個半圓果凍，**電解質仍可導電**。



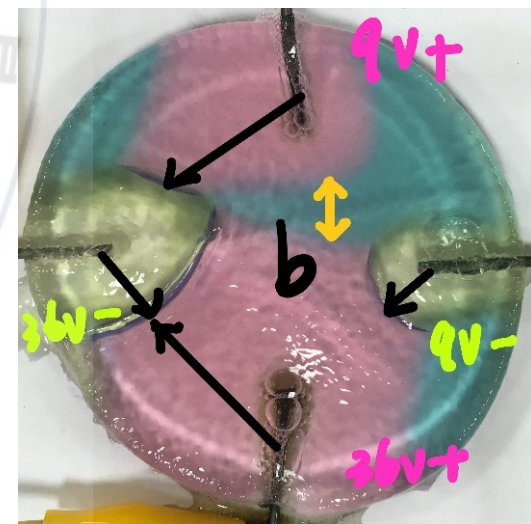
研究結果與討論

實驗五：不對稱電極對離子流動情形的影響

- 1.a組， $9V+$ 、 $9V-$ 的電荷相互流動， $36V+$ 、 $36V-$ 亦是如此，且同性電荷像同性磁極一樣相互排斥。
- 2.b組，正極電荷，皆往 $36V-$ 的方向；負極的電荷，皆往 $36V+$ 的方向。所以電壓愈高，對電荷的吸引力愈高。
- 3.電極電壓較高，較容易吸引異性電荷，且同性電荷互相排斥（同色區塊不相連）。



黃色箭頭 | 排斥



黑色箭頭 | 吸引

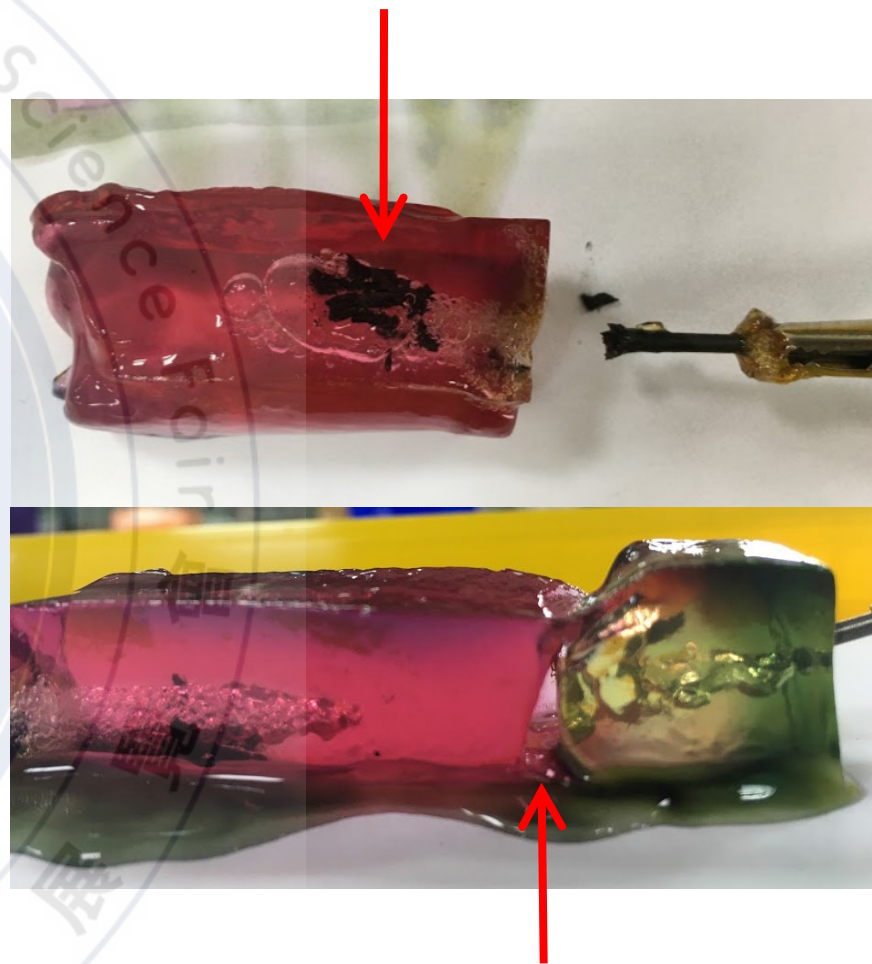
研究結果與討論

預期外發現：

1. 正極電極碎裂負極電極則無，推測因正極產生的 O_2 與碳電極反應，使電極碎裂。
2. 兩色交界處斷裂，推測兩色相碰時酸鹼中和（放熱反應），讓果凍兩色交界處融化。

未來展望：

1. 選用不同材質電極，找出電極破碎的原因。
2. 使用不同成分果凍，看看能否改善果凍融化造成的實驗困境。



結論

- 一. 電解蝶豆花水溶液，綠、粉紫色交界處，因離子重量不同，導致粉紫色部分在綠色部分上方。
- 二. 電解時，電壓愈大，速率愈快，且不影響反應後兩色分布結果。
若實驗並非觀察速率關係，可加大電壓，節省時間。
- 三. 路徑長短與電阻有關，影響電荷流動的選擇，多數電荷流經電阻小的短路徑。
- 四. 切斷後拼接的果凍仍可正常電解，因電解質水溶液能保持流通。
- 五. 電壓較高的電極，較容易吸引異性電荷，且同性電荷相互排斥，異性電荷相互吸引。