

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 理化科

031618

追蹤電場的色素——平面介質中食用色素的運動研究

學校名稱：國立高雄師範大學附屬高級中學

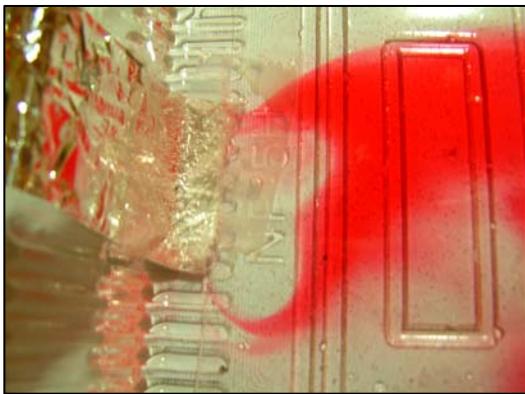
作者：	指導老師：
國一 嚴凱傑	林貴雄
國一 朱柏憲	曾鶯芳

關鍵詞：電場 食用色素 電泳

## 摘要

這是我們第三年研究食用色素的電泳，這個實驗技術是在“自然科學博物館”出版的“花的前世今生”的通俗刊物中學到的。實驗設置很像國小自然課教的“電池和燈泡的電路”；我們用幾顆電池、以果凍為介質，研究食用色素在果凍中受電力影響而運動的情形。

過去，我們研究的是色素在兩個電極間、沿著一個方向的運動；今年我們想到：如果介質是個平面、可以在各方向運動，色素會怎樣運動呢？實驗顯示：色素會跑向電極的尖角部位。老師告訴我們：在電極的尖角附近，電場較強、電力較大。因此我們的研究發現：色素會追蹤電場較強的方向，把電力線描繪出來，而且電力線會垂直電極表面。我們還發現：在空心電極內部，色素不會運動，顯示在空心電極內部沒有電場。我們也做了一些實驗研究介質的電性。

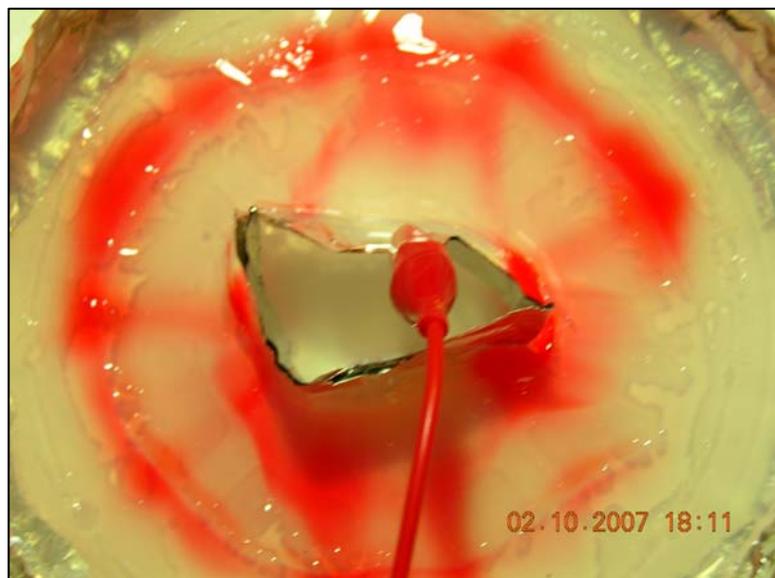


## 壹、研究動機：

這是我們第三年研究食用色素的電泳實驗，這個實驗技術是在“自然科學博物館”出版的“花的前世今生”的通俗刊物中學到的。實驗設置很簡單 --- 很像國小自然課教的“電池和燈泡的電路”；我們用幾顆電池、以果凍為介質，研究帶電的食用色素在果凍中受電力影響而運動的情形。

今年我們在國中的“自然與生活科技”(理化)課中學到許多關於電的知識，由於食用色素帶有電荷、又具有顏色，因此我們可以用這個實驗方法研究電荷的運動及介質的電性。由於很容易觀察，我們預期可以獲得很好的效果。

過去兩年，我們的研究都是觀察色素在兩個電極間、沿著一個方向運動的情形；今年我們想到：如果色素運動的範圍或介質是一個平面、讓色素可以在許多方向運動，色素會怎樣運動呢？我們也想要研究，用不同的比例調配電泳介質時介質的電性，藉以熟練課本中所學到的電學知識。



## 貳、研究目的：

1. 觀察色素在果凍中的電泳現象。
2. 學習電泳的實驗方法。
3. 學習跟電泳有關的知識。
4. 比較色素在水中的運動與在果凍中的運動有何不同。
5. 研究電解水的酸鹼性及色素含量對介質導電性的影響。
6. 在平面介質中利用色素的運動，觀察電場的變化。
7. 培養對日常生活中事物之觀察與思考、並能進一步深入研究、探討的態度。
8. 學習科學方法及態度。
9. 訓練搜尋資料及尋求各種支援的能力。
10. 學習整理實驗數據、分析及思考實驗結果的能力。
11. 學習撰寫研究報告的方法

## 參、研究設備及器材：

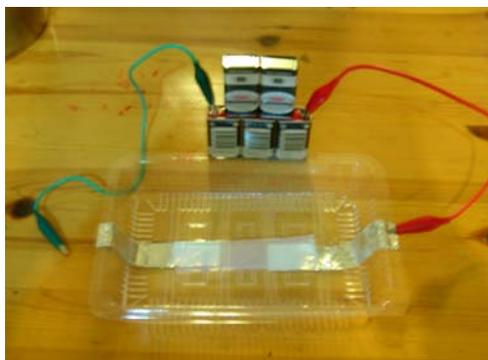
### 一. 電泳實驗之器材設置



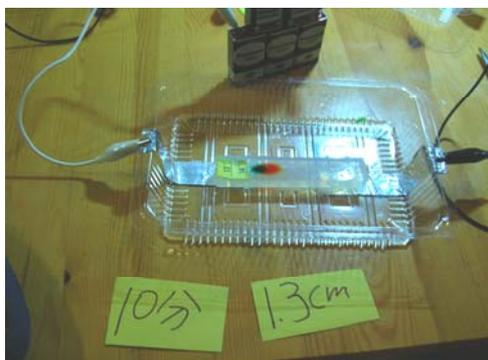
1. 準備一個塑膠餐盒做電解槽。
2. 在兩端分別擺上鋁箔紙做為電極。



3. 將洋菜果凍放在電極上，  
加入 30 c.c. 的電解水。



4. 將九伏特的電池數顆上下連接，  
用紅色鱷魚夾夾住正極，  
用綠色鱷魚夾夾住負極，  
電線的另一端夾住電解槽的鋁箔電極。



5. 在果凍上挖出一個洞，  
將色素注入果凍中。
6. 觀察色素的運動，紀錄實驗結果。

## 二. 電泳實驗器材

1. 自製電泳槽：
  - a. 保麗龍盤或塑膠餐盒
  - b. 洋菜果凍
  - c. 9V 乾電池
  - d. 電線
  - e. 鱷魚夾
  - f. 鋁箔紙（做為電極）
2. 電解水。

## 三. 各實驗共用器材

1. 清水、面紙、廚房紙巾、漂白水。
2. 人工食用色素（黃色 4 號、藍色 1 號、紅色 6 號、綠色、咖啡色）。
3. 計時器、培養皿、膠帶、直尺、量筒、量角器、鐵架。
4. 數位相機、電腦。



## 四. 注意用電安全

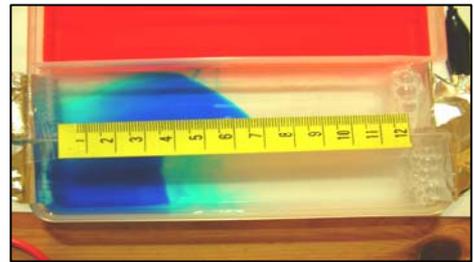
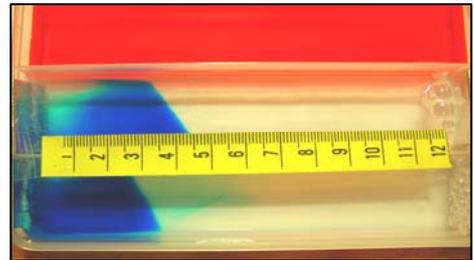
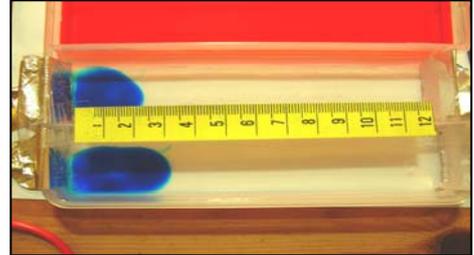
為顧慮實驗時的用電安全，我們通常都只使用 5 顆 9 伏特的電池進行實驗，也就是說：通常我們只使用低於 45 伏特的電壓進行實驗。以避免觸電的危險。

## 肆、色素在水中的運動與在果凍中的運動之比較

### 4-1：在電解水中，色素移動的距離隨時間的變化

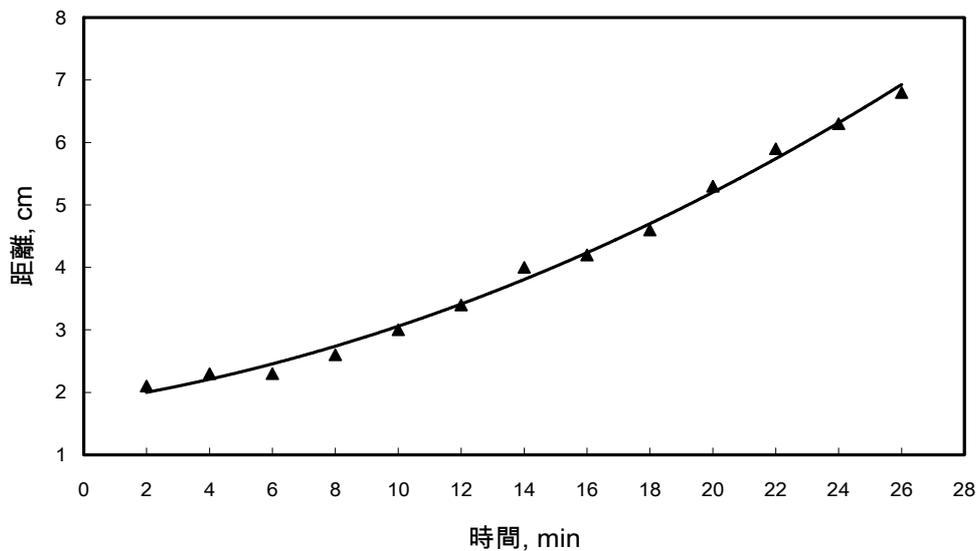
#### 實驗方法：

將九伏特的電池五顆正負連接，用紅色鱷魚夾夾住正極，用綠色鱷魚夾夾住負極；再準備一個塑膠盤，在兩端分別擺上鋁箔紙做為電極，中間放入 30 c.c. 的電解水，再將一滴青色色素滴到塑膠盤中負電極附近。最後將兩個鱷魚夾分別夾在鋁箔紙電極上，紀錄色素移動的距離隨時間的變化。



#### 實驗結果：

色素在酸性水中移動的距離與時間關係圖



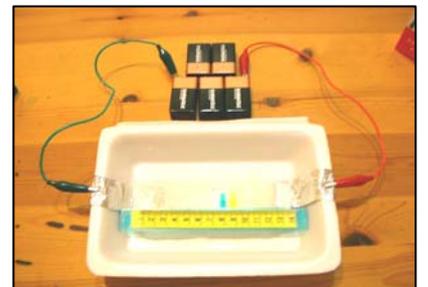
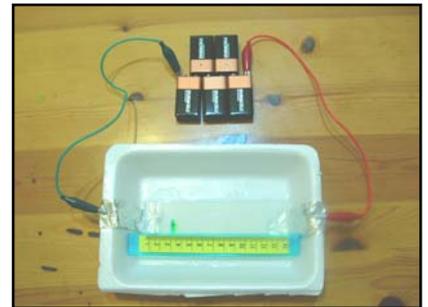
1. 色素運動的速度越來越快。開始時，每兩分鐘移動約 0.2 cm；到最後，每兩分鐘移動約 0.5 cm。

2. 色素在電解水中是向負電極的方向運動，顯示色素是帶正電荷。
3. 由於色素比水重，因此色素是沉在容器底部，在容器底部做水平運動。

#### 4-2：在果凍中，色素移動的距離隨時間的變化

##### 實驗方法：

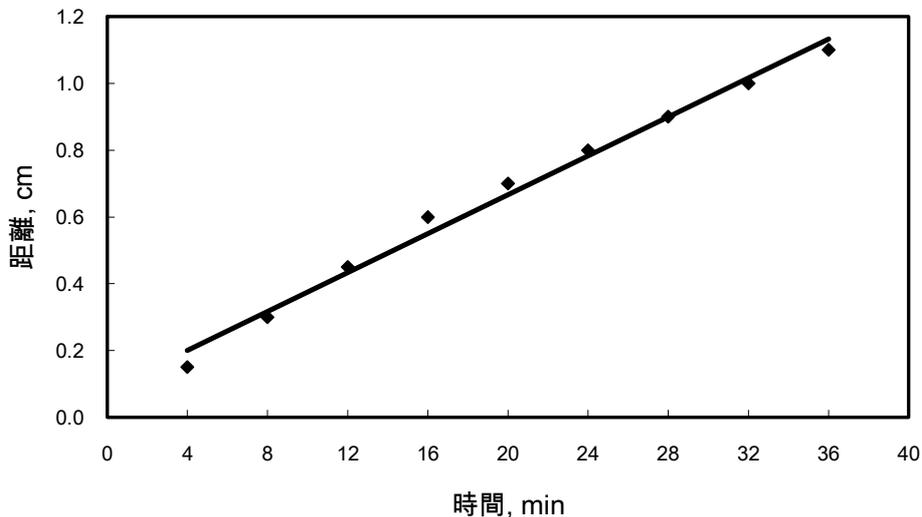
將九伏特的電池五顆正負連接，用紅色鱷魚夾夾住正極，用綠色鱷魚夾夾住負極；再準備一個塑膠盤，在兩端分別擺上鋁箔紙做為電極，中間放入 30 c.c.的電解水，再將洋菜煮成果凍狀擺放在塑膠盤中間。在果凍上挖出一個洞，並用針筒將人工食用色素注射進去，最後將兩個鱷魚夾分別夾在鋁箔紙電極上，紀錄色素移動的距離隨時間的變化。



##### 實驗結果：

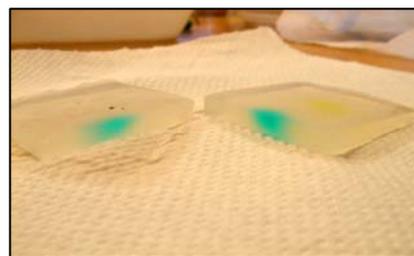
色素在果凍移動的距離與時間關係圖

青色色素，酸性水



1. 色素運動的速度幾乎不變。(每兩分鐘移動約 0.08 cm)
2. 色素在果凍中是向正電極的方向運動，顯示色素是帶負電荷。

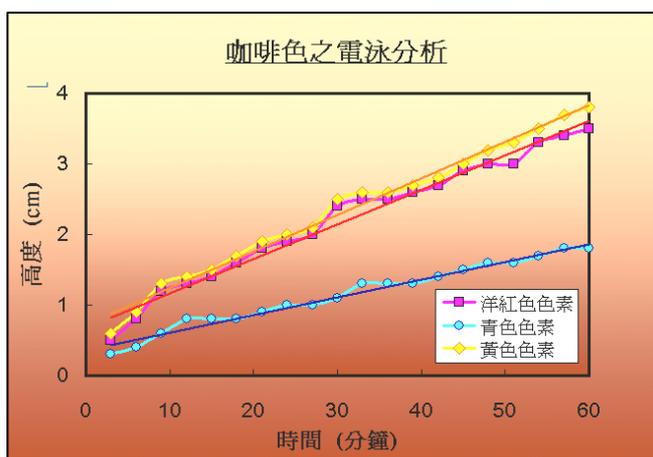
3. 實驗後將果凍切開，可以清楚地看到色素是在果凍的中間移動的。



### 4-3：實驗結果討論

1. 人工食用色素的基本色是洋紅色、黃色及青色（而不是紅色、綠色及藍色），很像噴墨印表機墨水的色彩組成，其他顏色都是由這三種顏色所組成的。
2. 在電解水中，色素是以加速度的方式運動的，運動的速度越來越快。在果凍中，色素大約是以等速度運動。而且色素在果凍中運動的速度比在電解水中運動的速度慢了很多。
3. 我們認為色素在果凍中的運動和在電解水中運動方式不同的原因是：果凍是很稠密的介質，色素在果凍中的運動嚴重的受到了果凍的阻礙。這個情形很像是我們在走廊上運動的情況；當走廊上沒有人時，我們可以跑步加速通過，而且加速得越跑越快。如果走廊上擠了很多人，我們根本無法加速通過，前進時我們會不斷的和人群碰撞，使得我們最多只能維持一個等速度前進，而且速度會慢了許多。
4. 這樣我們也可以了解到：在兩個電極間，電荷的確是受到了一個力（電力）的作用，這個電力想要加速電荷的運動，但是實際上電荷的運動會受到所處介質的影響。

5. 在果凍中，各色素的運動速度不同。由於咖啡色的色素是由洋紅色、青色和黃色這三種原色的色素混合而成的，因此是用來比較各色素運動速度最好的材料。實驗結果顯示：在果凍中，青色跑得最慢，黃色和洋紅色都比青色快很多，黃色還比洋紅色快一點。而且各種色素都是等速運動的。



6. 在製作果凍時，有很多因素都會影響色素運動的速度，包括：果凍的密度，果凍乾燥或潮濕的程度，果凍的厚度；但是在果凍中色素都是以等速運動的運動形式是不變的。
7. 更仔細的觀察會發現：在非常靠正電極的附近，色素的運動是會加速的，但是在上述的實驗中很難觀察，因為到正電極附近，色素會暈開變得很大，使得我們很難明確的

為它訂出一個位置。因此以上的數據都是在離電極較遠的位置測量的。

8. 右側照片的實驗中是一個圓盤型的果凍，外側圍了一圈圓形的負電極，在果凍中央是一個三角形的正電極。我們可以看到在正電極附近色素都很快的聚集到電極上，而外圍的色素還在慢慢的運動，可見得在非常靠近正電極的範圍，色素的確是加速的運動，和較遠處的緩慢等速運動明顯不同。



9. 在果凍中，所有的人工食用色素都跑向正極，顯示它們都是帶負電荷。這一點很奇特，我們原先以為有一些色素會跑向正極、有一些色素會跑向負極，可見得只靠想像、不做實驗，可能會產生錯誤。
10. 關於色素所帶的電荷，令我們非常困擾，我們曾經再三檢驗，發現不論是在酸性電解水或是鹼性電解水中，色素都是跑向負電極，顯示色素是帶正電荷。但是在果凍中，色素都是跑向正電極，顯示色素是帶負電荷。
11. 我們問過許多老師之後，得到一個可能的解釋：色素在果凍中可能會和果凍中的物質起化學反應，使得它的電性被改變。關於這一點還需要更進一步的實驗去檢驗。

## 伍、電解水及色素導電性的研究

### 5-1：電解水之酸鹼性對導電性的影響實驗

#### 實驗方法：

準備六個相同的水槽，分別注入不同體積的鹼性電解水及酸性電解水，

一號槽：10 c.c.鹼性電解水 + 60 c.c.酸性電解水

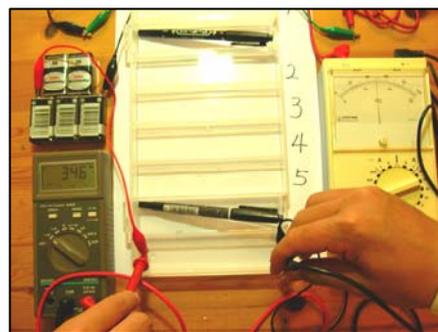
二號槽：20 c.c.鹼性電解水 + 50 c.c.酸性電解水

三號槽：30 c.c.鹼性電解水 + 40 c.c.酸性電解水

四號槽：40 c.c.鹼性電解水 + 30 c.c.酸性電解水

五號槽：50 c.c.鹼性電解水 + 20 c.c.酸性電解水

六號槽：60 c.c.鹼性電解水 + 10 c.c.酸性電解水

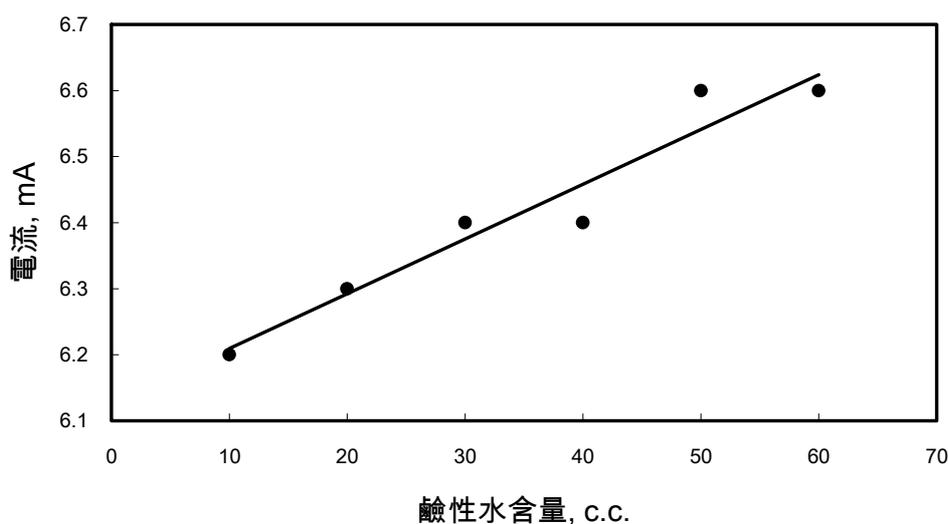


連接 5 顆 9 伏特的電池，以探針連接電池組做為電極，用伏特計測量電極兩端的電壓，再串連一個電流計測量電路上的電流。將電極（探針）輪流插入水槽中，記錄測得的電壓及電流。

#### 實驗過程與結果：

##### 電泳槽中鹼性水含量對電流的影響

電壓：42 V, 鹼性水含量 + 酸性水含量 = 70 c.c.



1. 實驗顯示：鹼性水含量越高，電解水的電流越大。

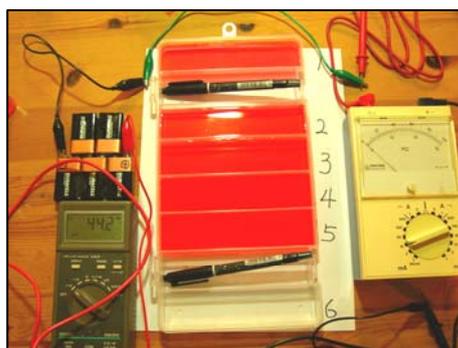
2. 由於電壓都是 42 V，電解水越趨近於鹼性時，導電性越好，電阻值越小。
3. 電解水的電阻大約為 6500 歐姆，隨酸鹼度不同而有微量改變。(在我們實驗的範圍，電阻由 6364 歐姆變為 6780 歐姆，變化量很小)

## 5-2：色素含量對電解水導電性之影響實驗

### 實驗方法：

準備六個相同的水槽，各別注入 70 c.c.的鹼性電解水，

- 一號槽：不加任何色素
- 二號槽：加入 0.2 c.c.紅色色素
- 三號槽：加入 0.4 c.c.紅色色素
- 四號槽：加入 0.6 c.c.紅色色素
- 五號槽：加入 0.8 c.c.紅色色素
- 六號槽：加入 1.0 c.c.紅色色素

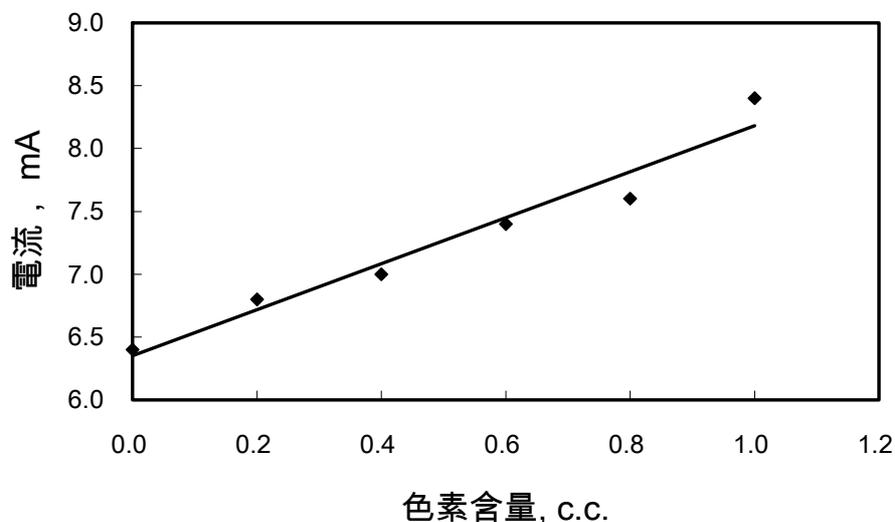


連接 5 顆 9 伏特的電池，以探針連接電池組做為電極，用伏特計測量電極兩端的電壓，再串連一個電流計測量電路上的電流。將電極（探針）輪流插入水槽中，記錄測得的電壓及電流。

### 實驗過程與結果：

#### 電泳槽中色素含量對電流的影響

電壓：42 V, 鹼性水：70 c.c.



1. 色素含量越多，電流越大，電解水的導電性越好。

2. 70 c.c.的鹼性水的電阻為  $42\text{ V} \div 6.4\text{ mA} = 6563\ \Omega$ 。

加入 1.0 c.c.的紅色色素之後 電阻變為  $42\text{ V} \div 8.4\text{ mA} = 5000\ \Omega$ 。變化量頗大。

### 5-3：實驗結果討論

1. 我們實驗所用的電解水是來自於家庭飲用的電解水製造機所產生的酸性水和鹼性水，我們用酸鹼試劑測試的結果，其酸性水的 pH 值約為 6.4，其鹼性水的 pH 值約為 7.6。但是我們並不知道它是怎樣使的電解水具有酸鹼性的。
2. 我們所使用的色素為市售的食用人工色素。
3. 實驗結果顯示色素對導電度的影響，比電解水的酸鹼度對導電度的影響大。
4. 色素在酸性電解水中運動得較快，在鹼性電解水中運動得較慢。
5. 我們預期：當一團色素通過電極時，電流值會有一個明顯的改變，但是實驗中並沒有觀察到類似的現象。可見得在整個電路上，色素所帶的電荷並不多，而且色素不是電路中主要的產生導電的因素，而是另外有其他的原因造成電路導通、電流流過。



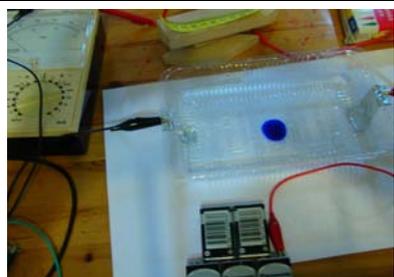
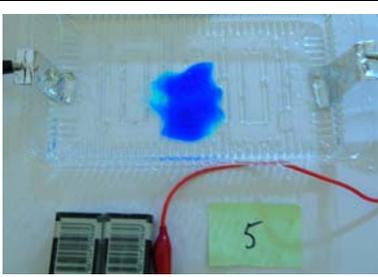
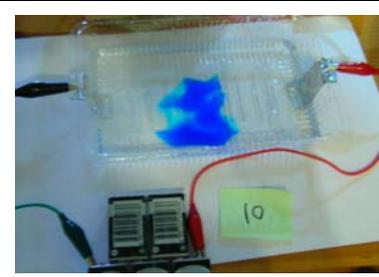
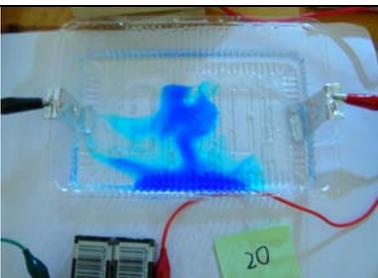
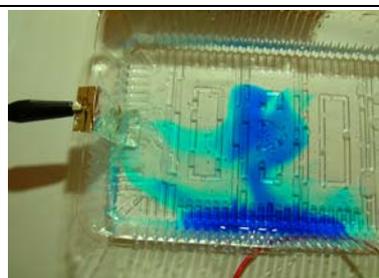
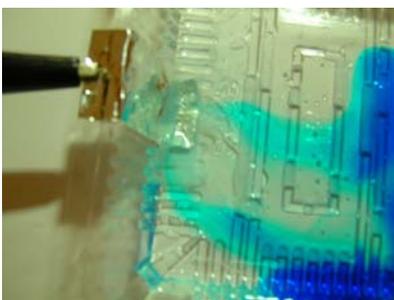
## 陸、在平面介質中，利用色素觀察電場

### 6-1：青色色素在鹼性電解水中的運動

#### 實驗方法：

在裝了鹼性電解水的電解槽中間，滴下一滴青色食用色素，接上電池之後觀察色素在鹼性電解水中的運動。

#### 實驗過程與結果：

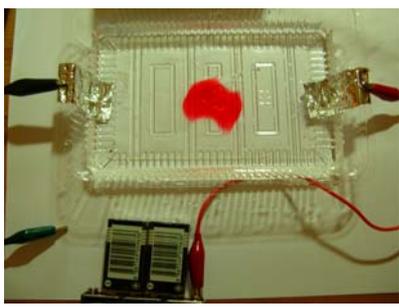
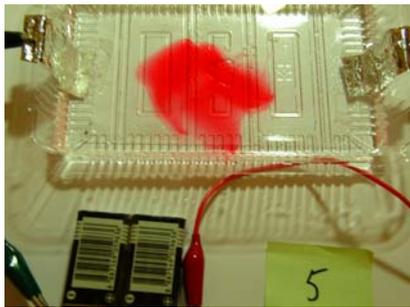
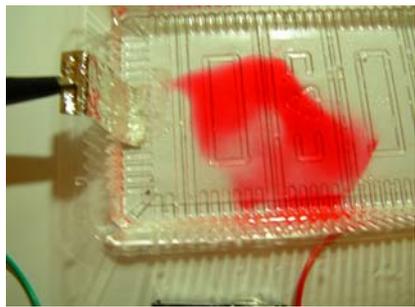
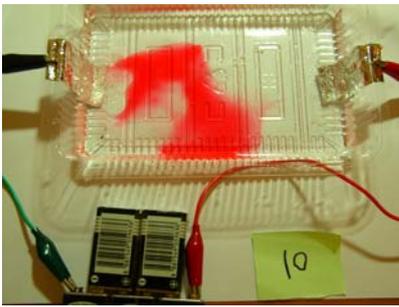
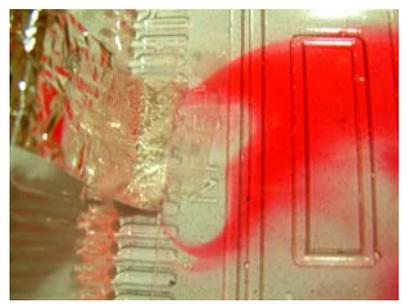
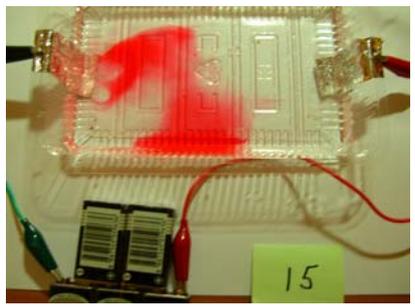
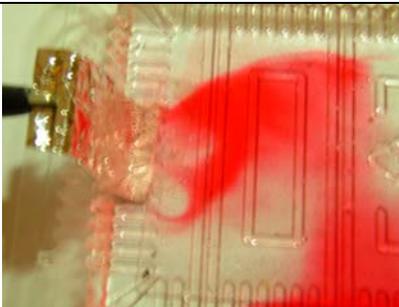
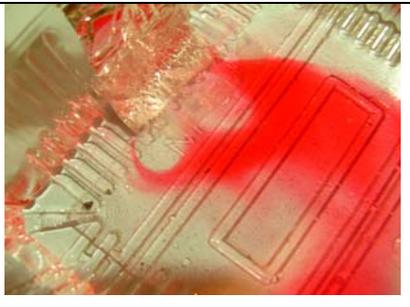
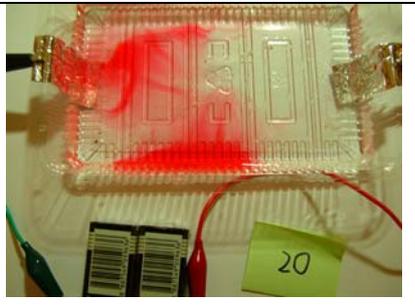
		
(圖一) 在電解槽中間滴下青色色素。	(圖二) 5 分鐘之後，色素開始擴散。	(圖三) 10 分鐘之後發現色素明顯的往負極移動。
		
(圖四) 15 分鐘後發現色素往負極移動更加明顯，彷彿伸出兩隻手。	(圖五) 20 分鐘之後發現色素已經接觸電極。	(圖六) 仔細觀察 --- 色素是往電極的尖端移動。
		
(圖七) 放大，更加明顯。	(圖八) 再放大，可以發現電極在冒氣泡。	(圖九) 將電極取出，色素雖然到達電極，但是並沒有沾上電極或黏在電極上。

## 6-2：紅色色素在酸性電解水中的運動

### 實驗方法：

在裝了酸性電解水的電解槽中間，滴下一滴紅色食用色素，接上電池之後觀察色素在酸性電解水中的運動。

### 實驗過程與結果：

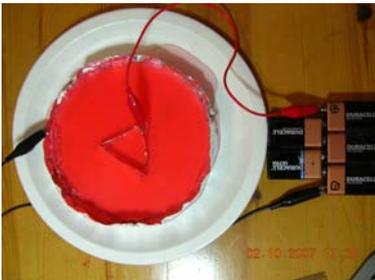
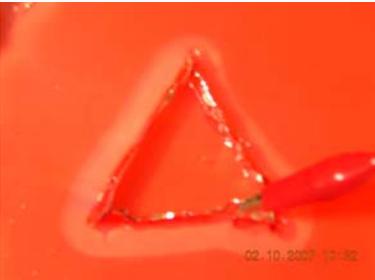
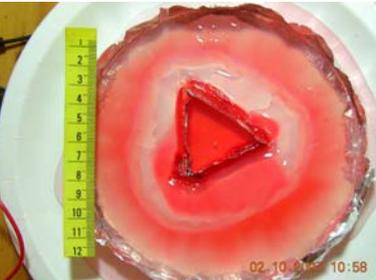
		
(圖一) 在電解槽中間滴下紅色色素。	(圖二) 5 分鐘之後，色素已明顯地指向負極。	(圖三) 很快地，色素指向了電極的尖角部位。
		
(圖四) 10 分鐘之後，色素已明顯趨向負極，並與電極尖角接觸。	(圖五) 放大，可以看見色素趨向電極尖角的情形。	(圖六) 15 分鐘後，色素又多出一隻角。
		
(圖七) 局部放大。	(圖八) 局部再放大。	(圖九) 20 分鐘後，更多的色素跑向負極。

### 6-3：色素在圓盤狀果凍及正三角形正電極中的運動

#### 實驗方法：

製作一片圓盤狀的果凍，製作時將紅色色素均勻的加入果凍中，用鋁箔製作一個圓環，插入果凍的外圍，作為負極。再用鋁箔製作一個正三角形的電極插入果凍中央部份，作為正極，連結電池，觀察色素的運動。

#### 實驗過程與結果：

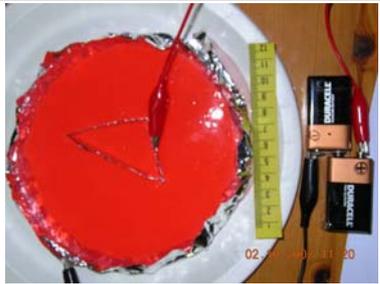
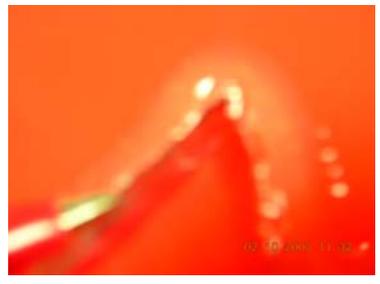
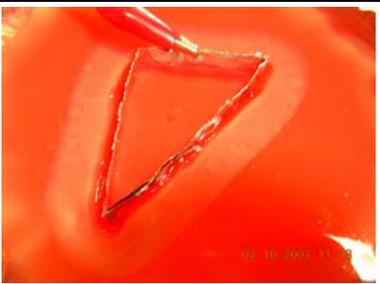
		
(圖一) 製作圓盤狀的果凍，外圍用鋁箔圍一圈圓形電極，中央是正三角型的電極。	(圖二) 外圍連接到電池負極，中央連接到電池正極。	(圖三) 兩分鐘後，就看到正電極外側的色素，明顯地集中到電極旁邊。
		
(圖四) 三分鐘後，更大範圍的色素跑到正電極旁邊。	(圖五) 八分鐘後，明顯地看到負電極附近的色素遠離負電極	(圖六) 15 分鐘後正負電極間明顯分作三個區域。
		
(圖七) 在空心電極中間顏色沒有變化，色素沒有運動。	(圖八) 正電極影響的範圍大約為 2 cm，負電極影響的範圍大約為 1.5 cm。	(圖九) 29 分鐘後，絕大部分的色素都到了正電極。

## 6-4：色素在圓盤狀果凍及直角三角形正電極中的運動

### 實驗方法：

製作一片圓盤狀的果凍，製作時將紅色色素均勻的加入果凍中，用鋁箔製作一個圓環，插入果凍的外圍，作為負極。再用鋁箔製作一個直角三角形的電極插入果凍中央部份，作為正極，連結電池，觀察色素的運動。

### 實驗過程與結果：

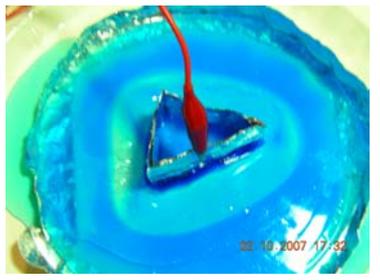
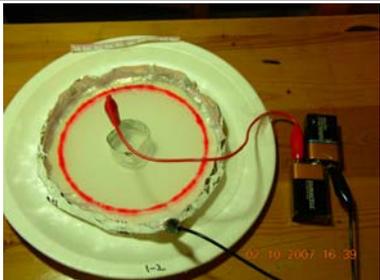
		
(圖一) 中央的直角三角形是正電極。	(圖二) 2 分鐘後，電極周圍的色素已有明顯移動，而且尖角的部位範圍較大。	(圖三) 放大了看，的確尖角附近色素較快跑掉。
		
(圖四) 12 分鐘後，尖角附近的放大圖。	(圖五) 尖角附近色素的變化較明顯。	(圖六) 11 分鐘後，各邊的影響也呈現出來了。
		
(圖七) 20 分鐘後，電極影響的範圍繼續加大。	(圖八) 28 分鐘後，正多的色素跑到正電極。	(圖九) 39 分鐘後，電極間明確的分為三個區域，電極中間沒有變化。

## 6-5：其他的輔助實驗

### 實驗方法：

變化色素的顏色，或電極的形狀，或電池的接法，觀察色素的運動。

### 實驗過程與結果：

		
(圖一) 藍色色素及環形正電極。藍色色素也是跑向正電極。	(圖二) 藍色色素及直角三角形正電極。結果和之前的實驗一樣。	(圖 a) 紅色色素及星形正電極。結果和之前的實驗一樣。
		
(圖三) 環形色素及環形正電極。	(圖四) 色素很漂亮的由果凍中跑向中央正電極。	(圖 b) 空心電極中間也是沒有色素運動。
		
(圖五) 中央是正電極，色素都跑到中央電極旁，外圍負電極旁的色素很少。	(圖六) 外圍是正電極，色素都跑到外圍電極旁，中央負電極旁的色素很少。	(圖 c) 尖角附近色素的運動也是比較快。

## 6-6：實驗結果討論

1. 不論電極是什麼形狀，各種色素在果凍中都是向正極移動，但是色素在電解水中則是向負極運動。
2. 在電極附近，色素運動得較快，在正電極附近是快速跑向正電極，在負電極附近是快速跑離負電極，使得在電極附近色素較少，顏色較淺。
3. 在正負電極間有一個區域是色素運動很慢的區域，明顯地看到留下很多色素，顏色顯得較深。
4. 老師告訴我們：在電泳槽中，電池的電壓使得介質中有電場存在，色素帶的電荷受到電場的影響，就會沿著電場的方向運動。
5. 所以我們知道 --- 色素的運動軌跡就會描繪出電場的方向。換句話說：色素是追隨著電場的方向運動的！
6. 空心電極的中間色素沒有移動，顯示空心電極的中間沒有電場。
7. 電極的尖角部位色素移動得較快，顯示在尖角附近電場較強。
8. 色素在電泳槽的中央就可以感受到電極尖端的電場較強，因此在電泳槽中央色素就伸出尖角追蹤電場強的方向了。

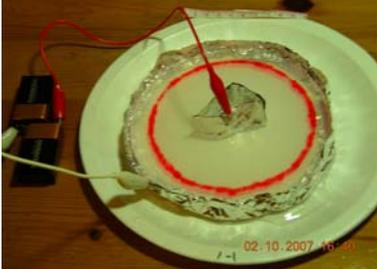
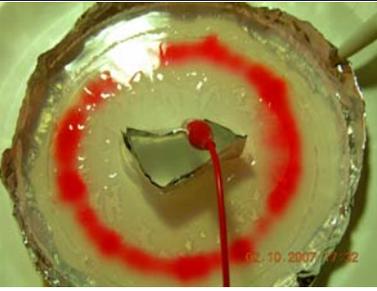
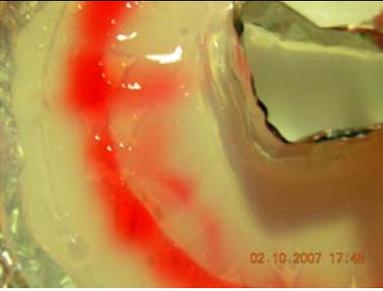
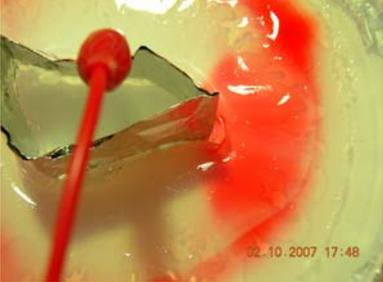
## 柒、在果凍中，利用色素描繪電力線

### 7-1：環狀色素在圓盤狀果凍中的運動

#### 實驗方法：

製作一片圓盤狀的果凍，製作時不將色素加到果凍中，用鋁箔製作一個圓環，插入果凍的外圍，作為負極。再用鋁箔製作一個直角三角形的電極插入果凍中央部份，作為正極，將果凍的外圍挖一個環注入紅色色素，連結電池，觀察色素的運動。

#### 實驗過程與結果：

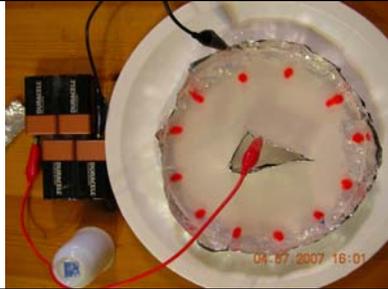
		
(圖一) 在果凍的外圍挖一個環，注入紅色色素。	(圖二) 連接電池，觀察色素的運動。	(圖三) 10 分鐘後，色素在果凍中（不是在表面），向著正電極運動。
		
(圖四) 19 分鐘後，色素更加靠近正極。	(圖五) 52 分鐘後，電極尖端附近的色素跑得較快，較靠近電極。	(圖六) 68 分鐘後，尖角附近的色素突然加速跑向正電極。
		
(圖七) 角度最小的尖角，色素跑得最快。	(圖八) 85 分鐘後，尖角附近色素的圖形。	(圖九) 91 分鐘後，色素畫出一些線條顯示出電力線。

## 7-2：利用色素點在圓盤狀果凍中描繪電力線

### 實驗方法：

製作一片圓盤狀的果凍，製作時不將色素加到果凍中，用鋁箔製作一個圓環，插入果凍的外圍，作為負極。再用鋁箔製作一個直角三角形的電極插入果凍中央部份，作為正極，將果凍的外圍挖 12 個點注入紅色色素，連結電池，觀察色素的運動。

### 實驗過程與結果：

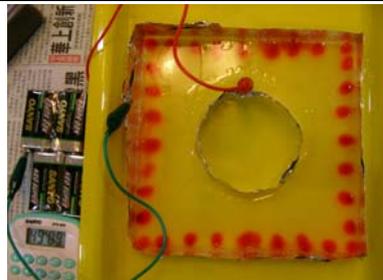
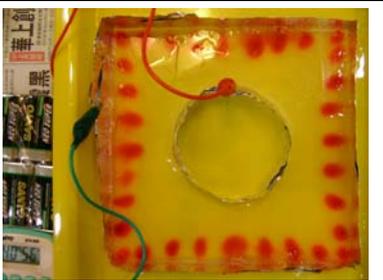
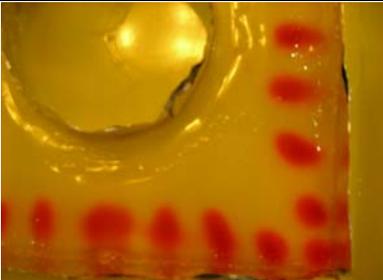
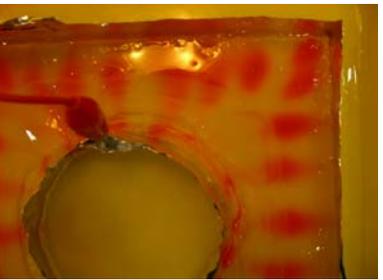
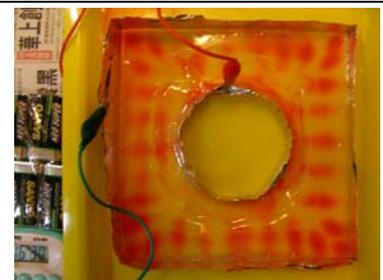
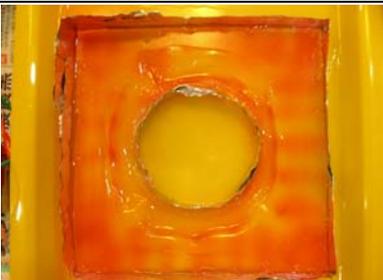
		
(圖一) 在果凍的外圍挖 12 個點，注入紅色色素。連接電池，觀察色素的運動。	(圖二) 七分鐘後就看到色素明顯的向中央正電極運動。	(圖三) 25 分鐘後，在最尖銳的角附近已經有色素率先抵達了。
		
(圖四) 放大了看，可以看到色素趨向尖角的情形。	(圖五) 36 分鐘後，另一個角也有色素跑過去了。	(圖六) 44 分鐘後，色素的軌跡描繪出漂亮的電力線。
		
(圖七) 色素離開負極時，是垂直負極表面，在運動期間可能會轉彎，使得它在接觸正極時也是垂直電極表面。	(圖八) 電場較強的位置，電力線較為集中，密度較高。	(圖九) 另一次實驗，電力線垂直離開負極，垂直接觸正極。

### 7-3：方形負電極和圓形正電極的電力線

#### 實驗方法：

製作一片方形的果凍，製作時不將色素加到果凍中，用鋁箔製作一個正方形，插入果凍的外圍，作為負極。再用鋁箔製作一個圓形的電極插入果凍中央部份，作為正極，將負極的內側點一些色素點，連結電池，觀察色素的運動。

#### 實驗過程與結果：

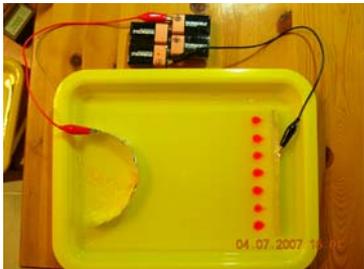
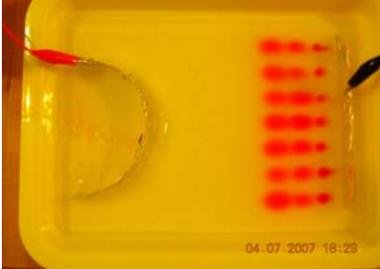
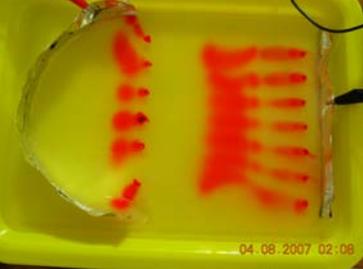
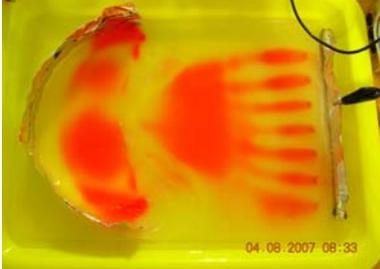
		
(圖一) 外側是方形的負電極，內側是圓形的正電極。	(圖二) 連接電池後很快的就看到色素點的移動。	(圖三) 角落的色素點垂直離開負極後就轉彎，向正電極垂直前進。
		
(圖四) 左上角的電力線分佈，色素點很快的趨向正電極了。	(圖五) 最漂亮的電力線，垂直離開負極，轉彎，垂直接觸正極。	(圖六) 右上角的電力線分佈，也有同樣的現象。
		
(圖七) 大約 4 個小時後的全部電力線。	(圖八) 右下角的色素點在 4 個小時內都沒有運動，可見的在那個角落電場幾乎為 0。	(圖九) 實驗完畢解開電池 8 小時後，電力線都擴散開了。

## 7-4：凹狀電極和凸狀電極的電力線

### 實驗方法：

製作一片方形的果凍，製作時不將色素加到果凍中，用鋁箔製作一個直條電極，插入果凍的右側，作為負極。再用鋁箔製作一個凸狀半圓的電極插入果凍左側，作為正極，在負極的左側挖 7 個點注入紅色色素，連結電池，觀察色素的運動。

### 實驗過程與結果：

		
<p>(圖一) 直線形的負極和凸狀半圓的正極。</p>	<p>(圖二) 色素會向正極運動，色素離開原位置後，再點入第二次的色素點。</p>	<p>(圖三) 逐漸描繪出電力線是垂直離開負電極表面。</p>
		
<p>(圖四) 在凸狀正電極附近，電力線會明顯擴展。</p>	<p>(圖五) 同樣的方法觀察凹狀半圓的正電極。</p>	<p>(圖六) 電力線也是垂直離開負極表面。</p>
		
<p>(圖七) 趨近凹狀正電極時，電力線會向中央聚集。</p>	<p>(圖八) 在凹狀正電極開口處再點一排色素點。</p>	<p>(圖九) 凹狀正電極附近的電力線會明顯聚集。</p>

## 7-5：實驗結果討論

1. 在金屬電極的表面，電力線都是垂直電極表面。電力線離開負極時是垂直的離開，電力線接觸正極時，也是垂直表面；因此在色素點運動的過程中軌跡會彎曲而顯示出電力線的形狀。
2. 直角負極的內側幾乎沒有電場。
3. 我們可以把這一節中電力線的實驗可以和前一節中的電場實驗相對照而得知：在電極的尖角附近，電場較強，電力線較集中，密度較大。由此而得知電力線和電場的關係：電場較強的位置，電力線較集中，密度較大。
4. 電力線的實驗比前一節中的電場實驗有趣，電場的實驗中只能觀察到電場的分佈範圍，而電力線的實驗則可以動態的觀察電荷的運動路徑。
5. 老師提醒我們說：我們的實驗有一個地方要注意，在電學中討論電荷的運動都是以正電荷的運動為主，因此電力線應該是由正電極指向負電極，我們的實驗中色素在果凍中帶的是負電荷，因此色素的運動是由負電極指向正電極；色素運動的方向和電力線的方向相反。

## 捌、結 論

1. 我們成功的利用色素在果凍中的運動，觀察到平面介質及各種形狀的電極中電場及電力線的分佈。
2. 老師告訴我們：將電極連接電池之後，正負電極之間就會有一個電場，若是將電荷放入電場中，電荷就會受到電場的影響而被電力驅動，開始運動。
3. 色素在電泳槽或電解槽中，會受到電力而運動，因此我們知道色素帶有電荷。色素的運動軌跡就會描繪出電場及電力線的方向。換句話說：色素是追蹤著電場的方向運動的。
4. 色素在電場中的運動形式和介質有關。在電解水中時，色素運動的速度越跑越快、是以加速度的形式運動。在果凍中，色素則是以等速度的形式運動，但是在正負電極附近都會有明顯的加速。色素在果凍中運動的速度比在電解水中運動的速度慢了很多。我們認為這是因為果凍是很稠密的介質，色素在果凍中的運動嚴重的受到了果凍的阻礙，因此速度減慢。
5. 在果凍中，不論電極是什麼形狀，在電極附近色素都運動得較快，在正電極附近是快速跑向正電極，在負電極附近是快速跑離負電極，使得在電極附近色素較少，顏色較淺。在正負電極間有一個區域是色素運動很慢的區域，明顯地看到留下很多色素，顏色顯得較深。所以我們知道：在果凍中，正負電極間電場的分佈不是均勻的，在電極附近電場較強，色素運動得較快，在遠離電極的位置電場較弱，色素運動得較慢。
6. 空心電極的中間，色素沒有移動，顯示空心電極的中間沒有電場。電極的尖角部位色素移動得較快，顯示在尖角附近電場較強，角度越尖，電場越大。色素在電解槽的中央就可以感受到電極尖端的電場較強，因此在電解槽中央，色素就開始追蹤電場強的方向了。
7. 在金屬電極表面，電力線及電場是垂直金屬表面的。在電場強的位置，電力線較集中，密度較高。
8. 實驗時在電極上面會產生氣泡，而且還聽得到氣泡產生的聲音，可能是因為水被電解產生的氣體，因此我們可以猜測：正極是產生氧氣、負極是產生氫氣。
9. 關於色素所帶的電荷，在果凍中，所有的色素都跑向正極，顯示它們都是帶負電荷。但是在電解水中，色素都是跑向負極，顯示它們是帶正電荷。這種差異我們還無法了解。

10. 人工食用色素的基本色是洋紅色、黃色及青色（而不是紅色、綠色及藍色），很像噴墨印表機墨水的色彩組成，其他顏色都是由這三種顏色所組成的。例如：綠色是青色及黃色所組成的，咖啡色中則包括了洋紅色、黃色及青色。洋紅色、黃色及青色是噴墨式印表機墨水的基本色，因此人工食用色素也可以用這三種基本色組合出像“噴墨式印表機墨水可以印出的”那麼多種顏色。實驗結果顯示：在電泳時，青色跑得最慢，黃色和洋紅色都比青色快很多，黃色還比洋紅色快一點。
11. 我們在網路上找參考資料時，看到很多文件都說：電泳是用來研究蛋白質和 DNA 的高難度實驗技術。但是當我們做完這些實驗之後，發覺電泳也可以是很簡單的實驗技術，實驗設置很簡單 --- 很像國小自然課教的“電池和燈泡的電路”。
12. 由於食用色素具有顏色、又帶有電荷，因此我們可以用電泳的方法觀察及研究電荷的運動及介質的電性。這是研究電荷運動和介質電性的好方法。我們成功的關鍵之一在於：我們已經研究這個主題三年了，我們對於製作果凍和用果凍作實驗的技術非常純熟，使得我們可以作出很好的實驗結果。

## 玖、參考資料

1. 邱少婷，黃俊霖（民 92）：“花的前世今生”，台中市，自然科學博物館。
2. 鍾牧辰，黃炳曄，吳昇鴻，賴軒汝：“毛細現象的另一章”，第 41 屆國中小學科學展覽會 國小組 物理科 作品說明書。
3. 曾苡容，賴慈宜，王郁雯，黃亭瑜，張鐙蔚，陳思瑋：“毛細現象之另類研究 - 色彩饗宴”，第 42 屆中小學科學展覽會 國小組 化學科 作品說明書。
4. “我吃了幾種顏色？”，高雄市第 45 屆中小學科學展覽會 國小組 統整科 作品說明書。
5. “看著電荷跑 --- 食用色素電泳的電性研究”，高雄市第 46 屆中小學科學展覽會 國中組 物理科 作品說明書。

【評 語】 031618 追蹤電場的色素——平面介質中食用色素的  
運動研究

優：以淺顯、有趣的方式呈現色素在平面介質中的運動情形。

缺：較缺乏鮮活問題之創意。用以呈現電力線之方式和課本常用的不同。