

新竹市第四十三屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：生物科

組 別：國小甲組

作品名稱：電豆初開-探索靜電電場與綠豆發芽之影響

關 鍵 詞：電場、綠豆、靜電

編 號：



目次

摘要.....	2
壹、前言(含研究動機、目的、文獻回顧).....	2
研究目的.....	2
貳、研究設備及器材.....	3
參、研究過程或方法.....	3
實驗一、靜電產生方式與物質種類.....	4
實驗二、靜電測量再進化.....	6
實驗三、靜電與水流的影響.....	7
實驗四、自製范氏起電器與綠豆生長影響.....	9
實驗五、綠豆在不同電壓的電場中生長反應.....	13
實驗六、綠豆在酸性溶液內，生長反應是否受電場環境影響.....	15
實驗七、綠豆在鹼性溶液內，生長反應是否受電場環境影響.....	17
實驗八、水中直接通電，對綠豆發芽影響.....	19
實驗九、使用統計概念來進行資料分析.....	21
肆、研究結果.....	23
伍、討論.....	24
陸、結論.....	25
柒、參考文獻資料.....	25

摘要

本研究探討靜電電場對綠豆發芽的影響，從靜電產生的起因與物質開始研究，透過一系列實驗，測試不同強度的靜電或電場環境下，綠豆的發芽狀況，以分析是否存在一定的電場強度來促進發芽。此外，本研究亦探討靜電對水流的影響，並透過不同環境條件，例如：酸性、鹼性、直接通電，進一步分析靜電電場與綠豆生長的關聯性。

結果顯示，水流在靜電場中會發生偏折，像 3V、21V 這樣適當的電場，可能對綠豆發芽有促進作用。然而，酸性與鹼性環境皆會抑制發芽，而水中直接通電則能顯著提高發芽率。這些發現有助於了解電場在植物發芽中的潛在應用。

壹、前言(含研究動機、目的、文獻回顧)

靜電是日常生活中常見的現象，無論是在摩擦衣物、梳頭髮，或者在觸摸金屬物時，我們有時都能感受到靜電帶來的電擊感。

我們發現在冬天穿脫衣物時，尤其是毛衣，更容易產生靜電現象，偶爾常會被電到嚇一跳，但是我們也觀察到，有些材質的衣服，就不容易產生靜電現象。於是我們就對『靜電』產生好奇心，到底靜電是如何產生的？對於我們的生活有哪些影響與應用？因此我們決定以靜電為出發點，好好研究靜電的前世今生，探討靜電在生活中的影響力。

研究目的

測量在不同強度下靜電或電場環境中，綠豆的生長情況。透過觀察在靜電場作用下，可否促進或抑制綠豆的發芽和生長，並進一步分析是否存在最佳的電場強度，能夠促進綠豆發芽生長。以下是我們幾項研究重點：

- 一、探討靜電產生方式與物質種類。
- 二、將靜電測量再進化。
- 三、研究靜電與水流的影響。
- 四、自製范氏起電器與綠豆生長影響。
- 五、綠豆浸泡在中性水內，並在不同電壓的電場中，生長反應的變化。
- 六、測試綠豆在酸性溶液內，生長反應是否受電場環境影響。
- 七、測試綠豆在鹼性溶液內，生長反應是否受電場環境影響。
- 八、測試水中直接通電，對綠豆發芽影響。
- 九、使用統計學相關概念進行資料分析。

貳、研究設備及器材



空心塑膠管	熱熔槍	夾線器	長條氣球	電池盒
馬達	鑷子	剪刀	雙面膠	絕緣膠帶
燈泡、LED 燈	電線	鋁箔紙	牙籤	燒杯、玻璃棒
檸檬酸	小蘇打	食鹽	綠豆	市售靜電棒
溫度計	電源供應器	電子秤	pH 值檢測計	電子顯微鏡

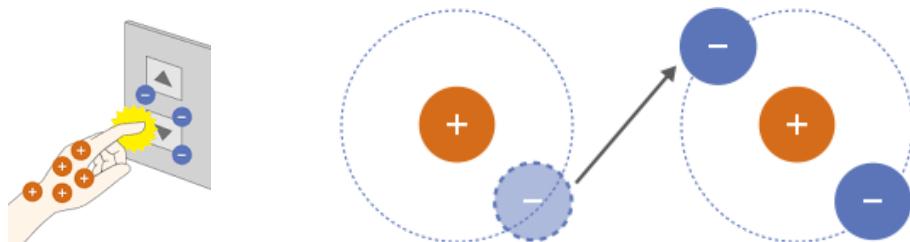
參、研究過程或方法



實驗一、靜電產生方式與物質種類

靜電現象是指靜止的電荷在物體上積聚的現象，當這些電荷的平衡被打破時，就會產生靜電放電。這種現象在日常生活中很常見，例如摩擦頭髮、衣物、或觸摸金屬物體時常會感覺到電擊。

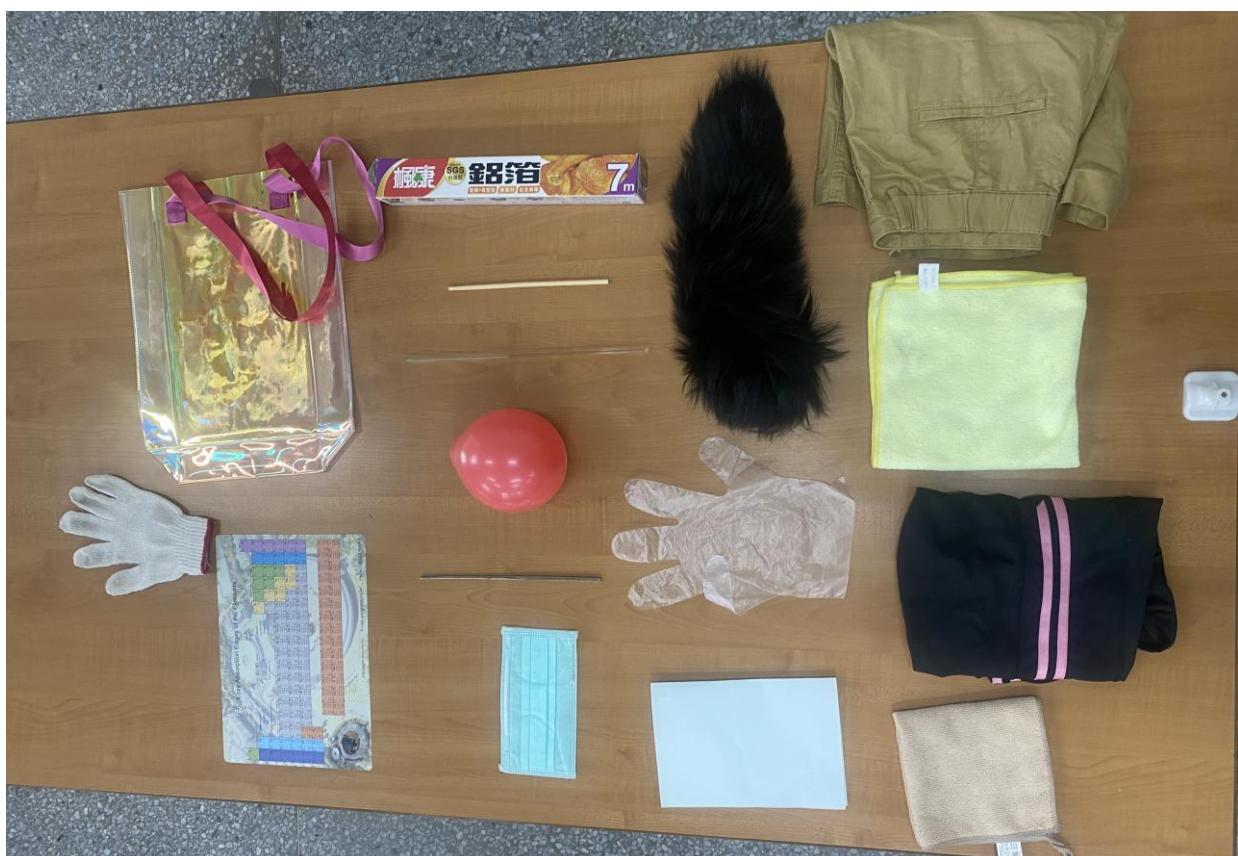
靜電（英文：Static Electricity、Electrostatic 或 Electro-static）是電荷在物質系統中的不平衡分布產生的現象。當兩個物體相互碰撞時，負電將會移動到吸引負電力道較強的一方。負電被奪走的一方正電會變多，另一方面，奪走負電的一方則負電會變多。也就是原本呈現良好平衡的狀態因碰撞而失去平衡。此失去平衡的狀態就稱作「靜電」。



資料來源：維基百科

因為我們觀察到脫毛衣時容易產生靜電，於是我們開始收集生活中常有的物品，例如各種材質衣服、塑膠、玻璃、木棒、金屬、口罩等等，兩兩一組進行互相摩擦。

各種測試物質

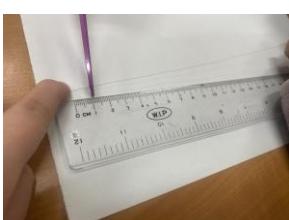


實驗步驟：

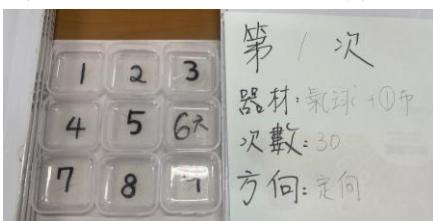
(一)、將上列物質兩兩互相摩擦 30 次，方向保持同向。



(二)、為了將靜電量數據量化，我們設計用九宮格的方式，每格放入 0.5 公分長的頭髮，將摩擦後的物體靠近九宮格 0.5 公分的高度，停留 5 秒後，蓋上白紙再將物體移開，計算物體上因靜電吸引的頭髮數量。



(三)、每項物質測試 30 次後計算頭髮吸收的平均數量。



實驗數據：

物品	環保袋	棉手套	墊板	鋁箔紙	竹筷	玻璃棒	氣球	鐵棒
總次數	450	450	450	450	450	450	450	450
頭髮 總量	7	0	2	0	0	10	13	0

物品	口罩	毛皮	塑膠 手套	紙	聚脂 纖維	棉布	棉布 50% 尼龍 50%	尼龍
總次數	450	450	450	450	450	450	450	450
頭髮 總量	1	5	11	0	5	1	2	9

實驗結果：發現物體有靜電產生，氣球靜電效果最明顯，但是各項物品實驗結果差異性不大。

實驗二、靜電測量再進化

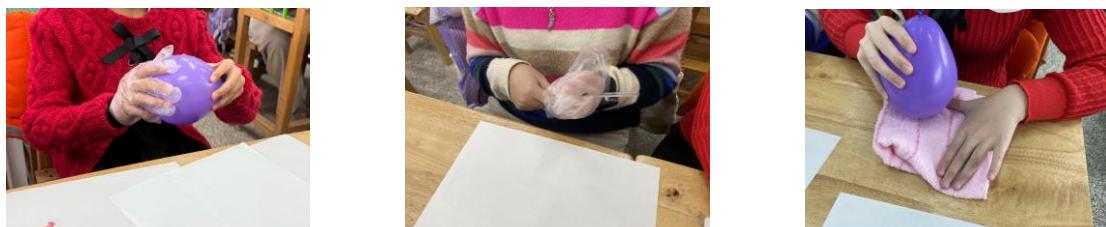
從實驗一可知，各項物品摩擦後，利用九宮格去吸取頭髮的方式，不容易量化靜電值，我們討論後，發現原因可能是物質類別或九宮格不易讓頭髮被吸取，所以我們決定將靜電測量方式做適當修正。我們著重在氣球、塑膠手套、玻璃棒、尼龍布等容易產生靜電的物質進行實驗，並且將紅色尼龍繩切成每片均為邊長 0.5 公分的正方形，當物體經由摩擦產生靜電後，透過吸取尼龍片的數量來判斷靜電力的大小。

實驗步驟：

(一)、將紅色尼龍繩切成每片均為邊長 0.5 公分的正方形。



(二)、將氣球、塑膠手套、玻璃棒、尼龍布等兩兩互相摩擦 30 次，方向保持同向。



(三)、為了將靜電量數據量化，我們將紅色尼龍片，均勻散佈在邊長 6 公分的正方形範圍內，將摩擦後的物體靠近紅色尼龍片，高度保持 1 公分，停留並計時 5 秒後，蓋上白紙再將物體移開，計算物體上因靜電吸引的紅色尼龍片數量。

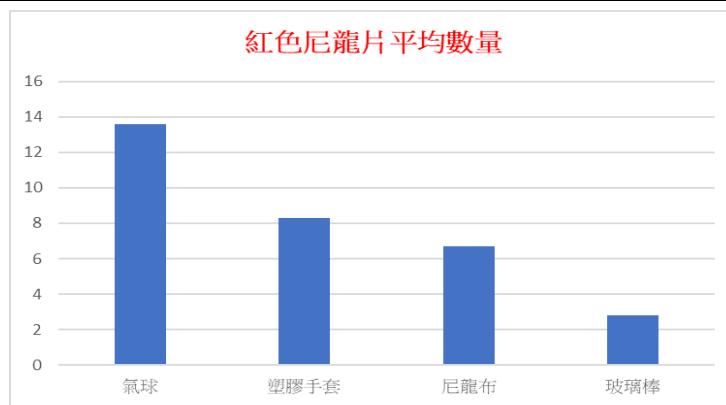


(四)、每項物質測試 10 次後計算紅色尼龍片吸取的平均數量。



實驗數據：

物品	氣球	塑膠手套	尼龍布	玻璃棒
總次數	30	30	30	30
紅色尼龍片總量	408	249	201	84
紅色尼龍片平均數量	13.6	8.3	6.7	2.8



實驗結果：紅色尼龍片實驗效果比頭髮好，且氣球與塑膠手套產生靜電感應比較好。

實驗三、靜電與水流的影響

由於我們發現，靜電日常多以透過物體摩擦而產生。因此我們在討論時，有人提出既然固體物質可以產生靜電，那麼液體也可以嗎？這引起我們的好奇心，加上常聽到手沒乾容易觸電，所以我們決定以水為主，實驗靜電是否會影響水的狀態。

前兩個實驗可以得知，靜電力與磁力類似，會吸引物質。經過小組討論後，在學校的空間中，水龍頭是最常見的給水裝置，我們決定以水龍頭流動的水為測驗物質，看流動中的水是否會受到靜電影響？為求測試數據一致，需要穩定的靜電產生器，我們購買市面販售的靜電棒產生穩定靜電，再以每分鐘的水量當作測量值，觀察其變化。

實驗步驟：

- (一)、在水龍頭下放置燒杯，並開啟 3 伏特電壓的靜電棒，以塑膠袋包覆後，離水流 2 公分的地方，觀察水流受靜電影響之現象。



50 毫升



100 毫升



150 毫升

(二)、測量 10 秒內水的體積，以水的體積代表水流量，並以紅墨水染色易於觀察。



50 毫升

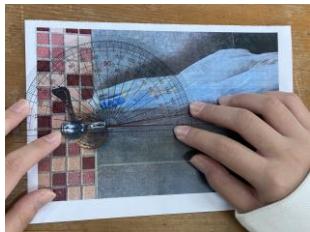


100 毫升



150 毫升

(三)、圖片使用量角器量測圖片中水流的偏轉角度。



水量 50 毫升偏折 7 度



水量 100 毫升偏折 5 度

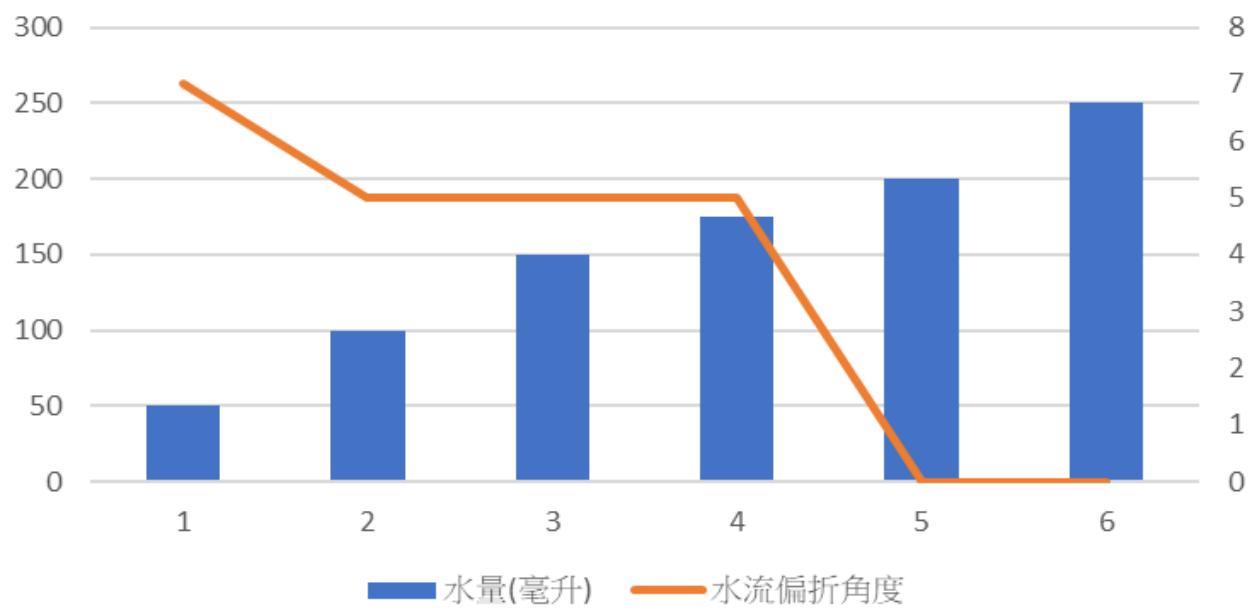


水量 175 毫升偏折 5 度

實驗數據：

水量(毫升)	50	100	150	175	200	250
水流是否偏折	會偏折	會偏折	會偏折	會偏折	不偏折	不偏折
水流偏折角度	7 度	5 度	5 度	5 度	0 度	0 度

水量與偏折角度圖



實驗結果：3 伏特電池電壓影響下，10 秒水量在 175 毫升以內的水流，均會受到偏折，且偏折角度均在 5 度到 7 度之間。

實驗四、自製范氏起電器與綠豆生長影響

當我們發現流動中的水流，會因為靜電棒的影響，產生水流偏斜的情況。經過我們集思廣益的討論後，既然液體和固體都可以受到靜電影響，有組員提到植物會吸水，那吸水過程若有靜電影響，是否會影響植物生長？於是我們決定聚焦在短天期的綠豆，測試靜電是否會影響綠豆發芽？

綠豆基本資料：

(一)、中文種名：綠豆

界	植物界 Plantae
門	種子植物門 Spermatophyta
綱	雙子葉植物綱 Dicotyledons
目	蠶豆目 Fabales
科	豆科 Fabaceae
屬	豇豆屬 Vigna



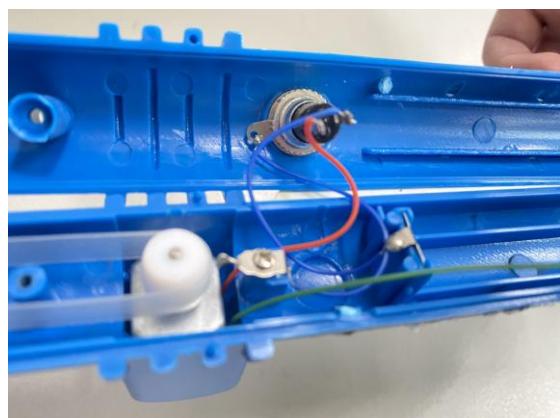
(二)、綠豆分布區域：原產印度、緬甸地區。現在東亞各國普遍種植，非洲、歐洲、美國也有少量種植，中國、緬甸等國是主要的綠豆出口國。

(三)、綠豆生長概況：屬於喜熱畏冷，短日照作物；可以在春（4月下旬至5月上中旬）、夏（6月中、下旬）播種。生長周期約為70至110天。依據農糧署資料顯示，維持土壤pH值為5.5—7.5，最適合綠豆生長。

但我們需要一個穩定的靜電供應器，於是我們拆解市售靜電棒，探究它產生靜電的原理。經過拆解後，發現是由電池產生電力後，透過馬達運轉，帶動塑膠軸轉動，在轉動的過程中，有一條皮帶帶動另外一個塑膠軸轉動，在轉動的過程中，因為快速摩擦，就會產生靜電，再利用電線將靜電導至塑膠棒上，就會產生靜電現象。

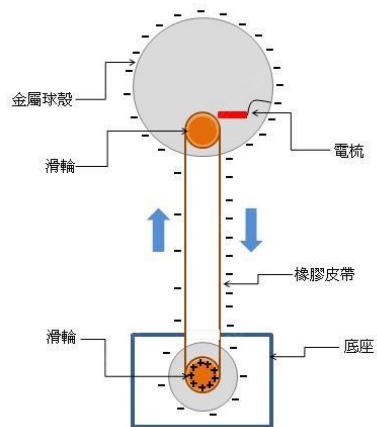


市售靜電棒內部構造



市售靜電棒內部構造

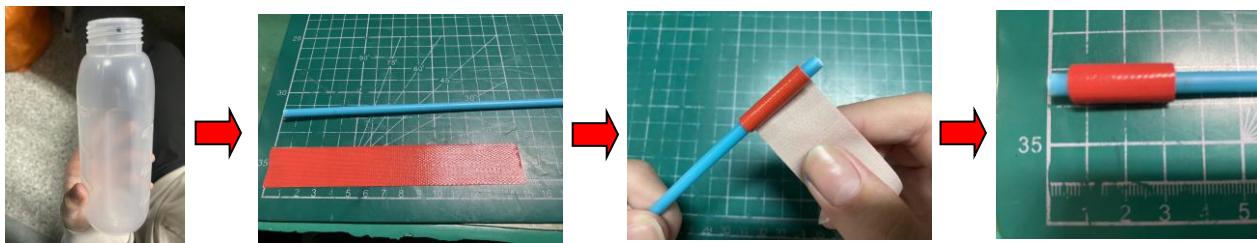
經過我們上網查資料後，發現這就是范氏起電器原理。范氏起電器是運用滑輪轉動時與橡膠皮帶摩擦後產生正負電荷分離的裝置，其構造與電荷產生的方式如右圖所示。塑膠條原本是不帶電的，但是因金屬球殼上累積大量的電荷，帶電的金屬球殼週遭的電場會感應塑膠條並加強其分子的極化狀態，因此塑膠條就被金屬球殼吸引。但塑膠條接觸到金屬球殼後就與金屬球殼具有同極性的電荷，相同的電荷有互相排斥的作用力，所以塑膠條會被彈開。再者，空氣中含有水分子，塑膠條上的電荷與空氣接觸就被釋放到空氣中，塑膠條又恢復電中性，接著就重複前述動作。於是我們搜集相關資料，準備製作供應靜電的自製起電器。



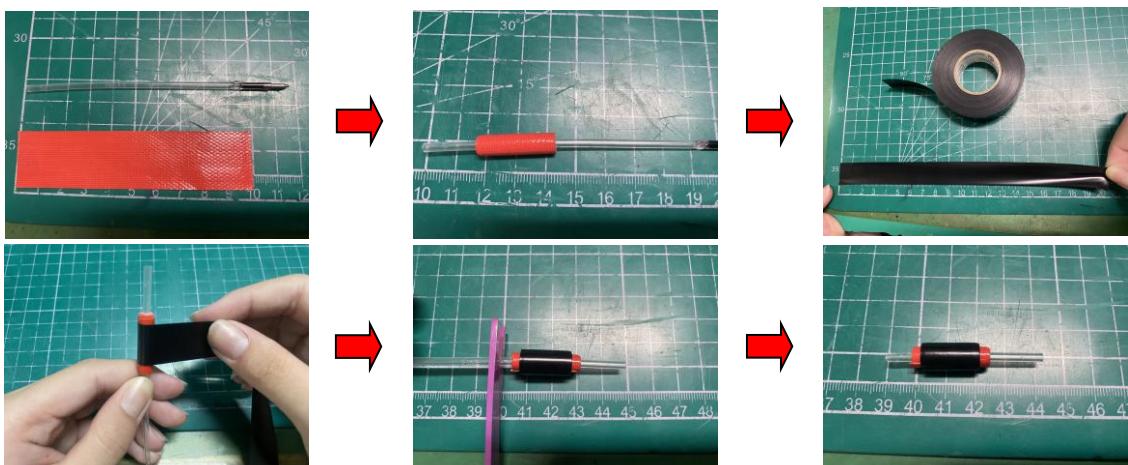
實驗步驟：

(一) 自製起電器步驟 1 找尋適用容器並製作上方軸心：

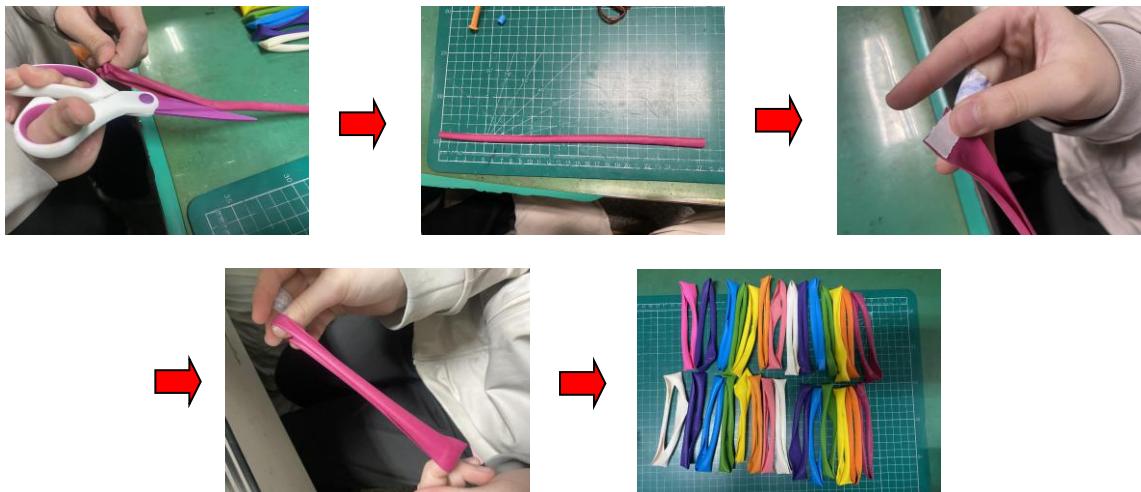
我們從實驗一和二得知，塑膠材質最易取得與產生靜電。於是我們尋找市面上的容器，因為某廠牌飲料瓶大小適中與其堅固特性，因此選用它為起電器瓶身。上方軸心需要耐久摩擦材質，因此選用 2.5 公分寬的絕緣膠帶，在距離空心硬塑膠管上方 0.5 公分的地方，取 15 公分的絕緣膠帶纏繞在空心硬塑膠管上。



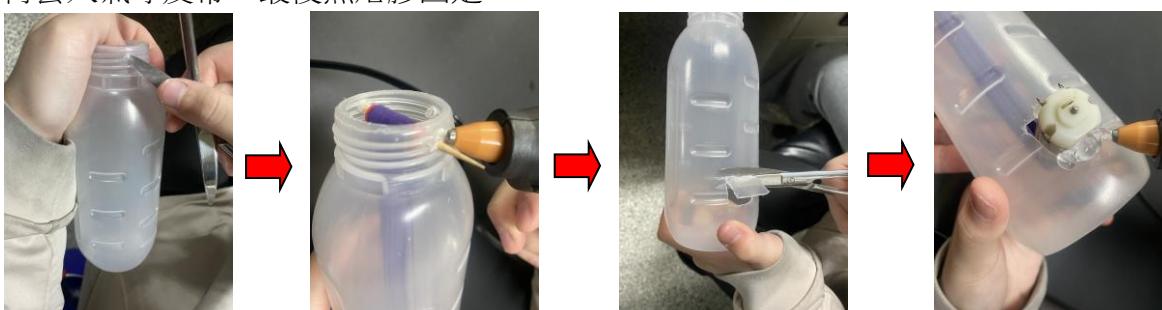
(二)、自製起電器步驟 2 製作下方軸心：下方軸心需要連接馬達才能轉動，一開始實驗過很多物品，都不適用，最後發現使用完畢的原子筆內管最為合適，優點是廢物利用並且穩固堅硬，先使用 2.5 公分寬的絕緣膠帶，在距離空心硬塑膠管上方 2 公分的地方，取 10 公分的絕緣膠帶纏繞在空心硬塑膠管上，接著使用 2 公分寬的絕緣膠帶，在距離空心硬塑膠管上方 2.5 公分的地方，取 20 公分的絕緣膠帶纏繞在空心硬塑膠管上，雙層絕緣膠帶能夠使馬達轉動時，轉動更穩定且靜電產生效能更佳。



(三)、自製起電器步驟 3 利用氣球製作帶動軸心的皮帶：兩軸心需要靠皮帶轉動，但經過測試尼龍繩、橡皮筋、縫衣服的線、棉線、氣球等物質，氣球製作的皮帶效果最好。而且前面實驗中，氣球產生靜電的效果非常好，於是我們將長條氣球切開，依照容器比例取用 27 公分的氣球，兩端用雙面膠黏妥後，即可成為帶動軸心的皮帶。



(四)、自製起電器步驟 4 軸心與馬達安裝：用飲料瓶當主體，距離瓶口處 1 公分的地方兩邊鑽洞，上軸心先穿過氣球皮帶，再將牙籤穿入上軸心的空心硬塑膠管中，裝入瓶口上方並以熱熔膠固定。接著剪開瓶身邊長 5 公分的正方形，將下軸心與馬達一起組裝後，再套入氣球皮帶，最後熱熔膠固定。



(五)、自製起電器步驟 5 電池盒連接馬達與電刷製作：電池盒正、負極電線與馬達相連接，之後將電線彎曲成多個圓形成為電刷，電刷分別與上、下兩軸心接觸，即可將分離的靜電電荷導出，再以熱熔膠固定，就完成我們自製的靜電起電器。



(六)、每碗都放 1 顆綠豆，且加入 20 毫升 25°C 的水，每天正常加水，我們以綠豆種皮破裂且發芽 0.2 公分視為已發芽，並量測與記錄綠豆發芽數量和重量的生長情況。實驗組為在靜電環境中的 50 顆綠豆，以鋁箔紙為底層，並用電線與自製靜電器連接，即可將靜電導出，每台為 3 伏特電池電壓，共計 10 組，每天供電時間從早上 8 點到下午 4 點。對照組為無靜電環境的 50 顆綠豆，實驗組與對照組均在同一環境中觀察 8 天。



靜電環境

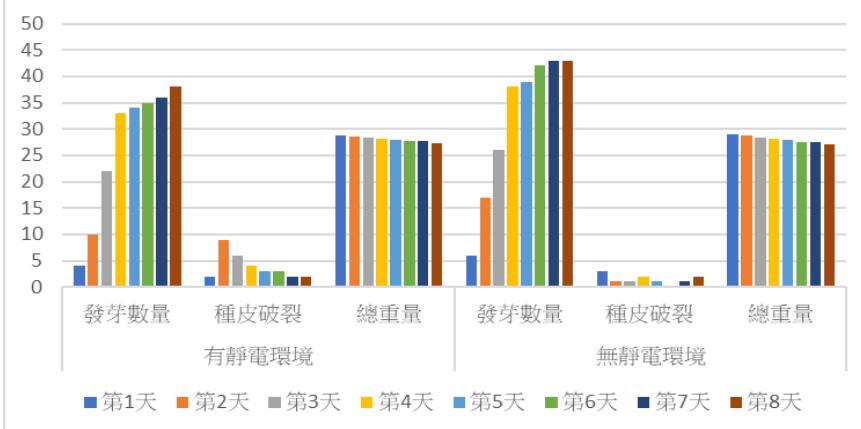


無靜電環境

實驗數據：

組別	有靜電環境			無靜電環境			其他說明
	發芽數量	種皮破裂	總重量	發芽數量	種皮破裂	總重量	
第1天	4	2	28.8	6	3	29.1	16°C
第2天	10	9	28.6	17	1	28.8	15°C
第3天	22	6	28.3	26	1	28.4	16°C
第4天	33	4	28.1	38	2	28.1	12°C
第5天	34	3	27.9	39	1	27.9	13°C
第6天	35	3	27.8	42	0	27.6	15°C
第7天	36	2	27.7	43	1	27.5	18°C
第8天	38	2	27.4	43	2	27	18°C

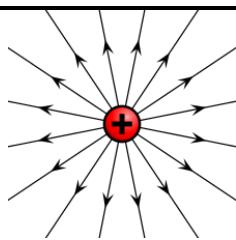
自製范氏起電器與綠豆生長影響



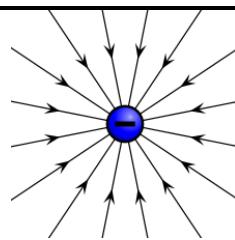
實驗結果：無靜電環境下，綠豆的發芽狀況比較好。在靜電環境下，綠豆種皮破裂數量較多但不容易發芽。但不管在有靜電，或是無靜電環境下，總重量差異性不大。

實驗五、綠豆在不同電壓的電場中生長反應

從實驗四得知，靜電對於綠豆發芽有些許幫助，但效率不彰且靜電難以量化計算。於是我們討論後，因為靜電有吸引力與排斥力的力量變化，而電場是由帶電物體產生的空間區域，其中帶電物體會受到力的作用。簡單來說，電場是一種影響帶電物體的物理現象，它反映了在空間中某個位置上，帶電物體所受的電力，讓我們能夠理解電力如何在空間中傳遞，而不需要直接接觸。於是我們決定採用通過控制電場強度來觀察植物對靜電量的反應，所以我們改以使用穩定供電的電源供應器提供電力，因此我們實驗組分別採用 3 伏特與 21 伏特的直流電壓，對照組仍然是無電壓的環境。



正電荷產生的電場，與距離的平方成反比，
方向朝外



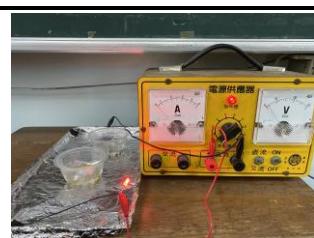
負電荷產生的電場，與距離的平方成反比，
方向朝內

電場是存在於電荷周圍，能傳遞電荷與電荷之間交互作用的物理場。在電荷周圍總有電場存在；同時電場對場中其他電荷發生力的作用。觀察者相對於電荷靜止時所觀察到的場稱為靜電場。如果電荷相對於觀察者運動，則除靜電場外，還有磁場出現。法拉第最先提出電場的概念。

實驗步驟：

(一)、共分為三組，無電壓環境、3 伏特電壓環境與 21 伏特電壓環境。每碗 25 顆綠豆加 50 毫升的水，觀察期間不加水，每組 2 碗共 50 顆綠豆，進行 8 天發芽實驗。

(二)、將綠豆置於鋁箔紙上，以電源供應器提供直流電 3 伏特電壓，透過鋁箔紙傳導電流，並接上 LED 紅燈，以確認有電流正常流通，每天供電時間從早上 8 點到下午 4 點。



(三)、將綠豆置於鐵盤上，以電源供應器提供直流電 21 伏特電壓，透過鐵盤傳導電流，並接上燈泡，以確認有電流正常流通，每天供電時間從早上 8 點到下午 4 點。

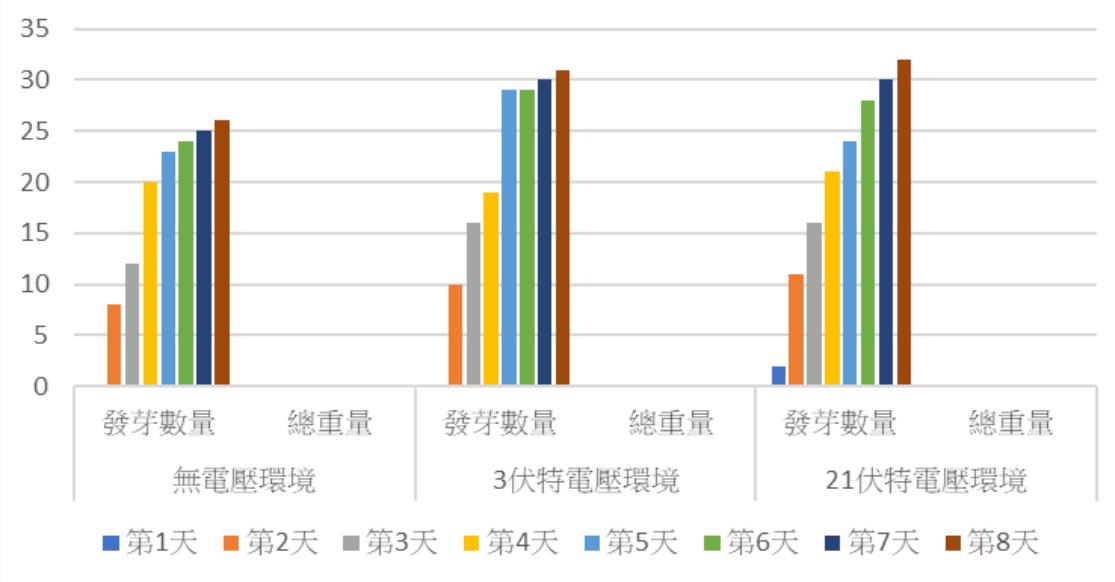


(四)、我們以種皮破裂且發芽 0.2 公分的標準，確認發芽狀況，記錄 8 天各組綠豆重量與發芽顆數。

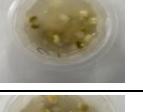
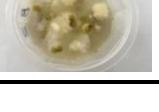
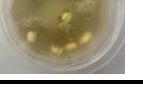
實驗數據：

組別	無電壓環境		3 伏特電壓環境		21 伏特電壓環境	
	發芽數量	總重量	發芽數量	總重量	發芽數量	總重量
第 1 天	0	113.6 公克	0	114.2 公克	2	114.5 公克
第 2 天	8	111.2 公克	10	110.3 公克	11	112.4 公克
第 3 天	12	109 公克	16	108.5 公克	16	108.5 公克
第 4 天	20	104.7 公克	19	99.6 公克	21	101.3 公克
第 5 天	23	102.5 公克	29	96.5 公克	24	96.7 公克
第 6 天	24	99.8 公克	29	93.2 公克	28	93.9 公克
第 7 天	25	94.8 公克	30	87.6 公克	30	92.1 公克
第 8 天	26	91.2 公克	31	83.6 公克	32	86.1 公克

綠豆在不同電壓的電場中生長反應



組別	無電壓環境	3 伏特電壓環境	21 伏特電壓環境
第 1 天			
第 2 天			
第 3 天			

第4天			
第5天			
第6天			
第7天			
第8天			

實驗結果：在靜電環境下，總發芽率比較好，且發芽率比無靜電環境多 10%。從第四天起，水面開始變得混濁，第八天時，水面有出現白色物質。

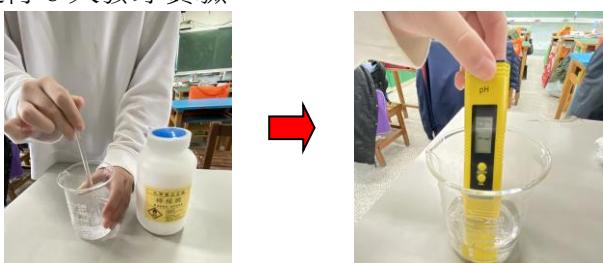
實驗六、綠豆在酸性溶液內，生長反應是否受電場環境影響

從水溶液導電實驗可知，酸性與鹼性溶液可導電。於是我們在實驗五的條件下，將水中加入檸檬酸，觀察在不同電壓的電場環境下，是否會影響綠豆的發芽。

我們選用檸檬酸的原因是檸檬酸相對安全好操作，而且檸檬酸是在自然界柑橘類水果中產生的一種天然防腐劑，也是食物和飲料中的酸味添加劑。在生物化學中，它是檸檬酸循環的重要中間產物，因此在幾乎所有生物的代謝中起到重要作用。此外，它也是一種對環境無害的清潔劑。

實驗步驟：

(一)、共分為三組，無電壓環境，3 伏特電壓環境與 21 伏特電壓環境。將 5 公克檸檬酸加入 50 毫升、攝氏 25 度的水中溶解，檸檬酸水溶液濃度為 9%。並檢測檸檬酸水溶液 pH 值為 1.74。接著將此檸檬酸水溶液加入碗中，每碗 25 顆綠豆，每組 2 碗共 50 顆綠豆，進行 8 天發芽實驗。



(二)、將綠豆浸泡在檸檬酸水溶液中，置於鋁箔紙上，以電源供應器提供直流電 3 伏特電壓，透過鋁箔紙傳導電流，並接上 LED 紅燈，以確認有電流正常流通，每天供電時間從早上 8 點到下午 4 點。



(三)、將綠豆浸泡在檸檬酸水溶液中，置於鐵盤上，以電源供應器提供直流電 21 伏特電壓，透過鐵盤傳導電流，並接上燈泡，以確認有電流正常流通，每天供電時間從早上 8 點到下午 4 點。



(四)、取另一個相同容器，加入攝氏 25 度，50 毫升的水，每天記錄氣溫與水蒸發量，用以比對綠豆真正吸水重量。

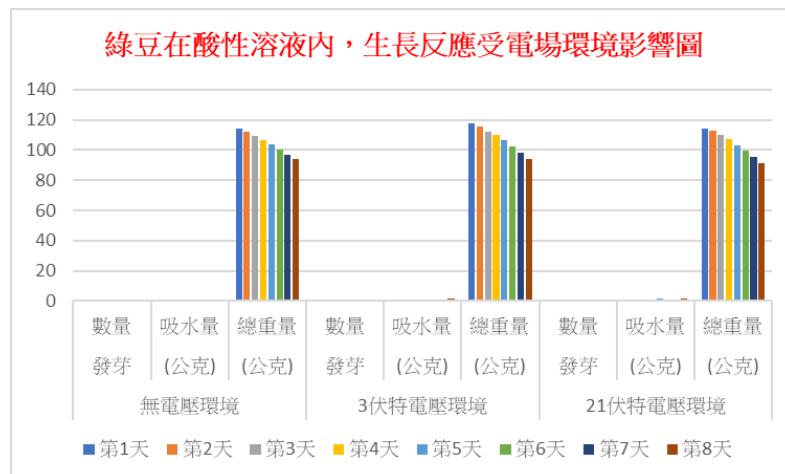
$$\text{綠豆吸水重量} = \text{綠豆減少重量} - \text{蒸發量}$$



(五)、我們以種皮破裂且發芽 0.2 公分的標準，確認發芽狀況，記錄 8 天各組綠豆重量與發芽顆數。

實驗數據：

組別	無電壓環境			3 伏特電壓環境			21 伏特電壓環境		
	發芽 數量	吸水量 (公克)	總重量 (公克)	發芽 數量	吸水量 (公克)	總重量 (公克)	發芽 數量	吸水量 (公克)	總重量 (公克)
第 1 天	0	0.3	114.1	0	0.5	117.4	0	0.4	114.1
第 2 天	0	0.2	112.4	0	0.4	115.5	0	0.1	112.5
第 3 天	0	0.5	109.5	0	0.8	112.3	0	0.3	109.8
第 4 天	0	0.2	106.9	0	0.1	109.8	0	0.4	107
第 5 天	0	0.3	104	0	0.5	106.7	0	1.3	103.1
第 6 天	0	0.2	100.6	0	1	102.5	0	0.6	99.3
第 7 天	0	0.2	97	0	0.9	98.2	0	0.7	95.2
第 8 天	0	0.2	94.3	0	1.8	93.9	0	1.5	91.2



組別	無電壓環境	3 伏特電壓環境	21 伏特電壓環境
第 2 天			
第 4 天			
第 6 天			
第 8 天			

實驗結果：檸檬酸 pH 值低，酸性太強，不利綠豆發芽，導致全部綠豆都沒有發芽，總共只有 4 顆綠豆種皮破裂，但無任何發芽跡象。

實驗七、綠豆在鹼性溶液內，生長反應是否受電場環境影響

我們在實驗五的條件下，將水中加入小蘇打粉，觀察在不同電壓的電場環境下，是否會影響綠豆的發芽。

我們選用小蘇打的原因是小蘇打為常見的鹼性物質，方便取得而且安全性高。碳酸氫鈉是一種無機化合物，化學式為 NaHCO_3 ，俗稱小蘇打、焙用鹼等，為白色細小晶體，在水中的溶解度小於碳酸鈉，呈弱鹼性。

實驗步驟：

(一)、共分為三組，無電壓環境，3 伏特電壓環境與 21 伏特電壓環境。將 5 公克小蘇打加入 50 毫升、攝氏 25 度的水中溶解，小蘇打水溶液濃度為 9%。並檢測小蘇打水溶液 pH 值為 8.28。接著將此小蘇打水溶液加入碗中，每碗 25 顆綠豆，每組 2 碗共 50 顆綠豆，進行 8 天發芽實驗。



(二)、將綠豆浸泡在小蘇打水溶液中，置於鋁箔紙上，以電源供應器提供直流電 3 伏特電壓，透過鋁箔紙傳導電流，並接上 LED 紅燈，以確認有電流正常流通，每天供電時間從早上 8 點到下午 4 點。



(三)、將綠豆浸泡在小蘇打水溶液中，置於鐵盤上，以電源供應器提供直流電 21 伏特電壓，透過鐵盤傳導電流，並接上燈泡，以確認有電流正常流通，每天供電時間從早上 8 點到下午 4 點。



(四)、取另一個相同容器，加入攝氏 25 度，50 毫升的水，每天記錄氣溫與水蒸發量，用以比對綠豆真正吸水重量。

$$\text{綠豆吸水重量} = \text{綠豆減少重量} - \text{蒸發量}.$$

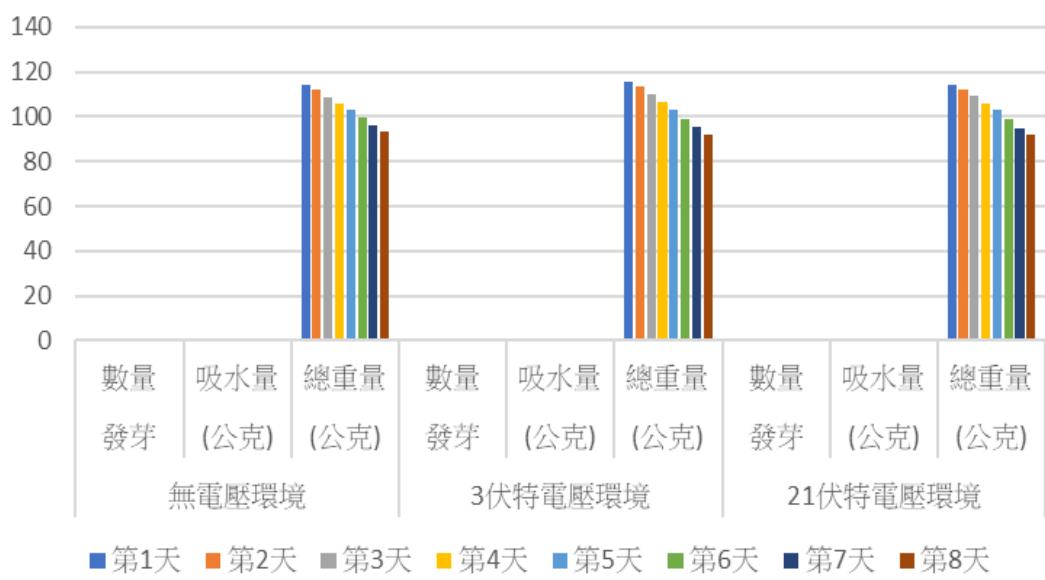


(五)、我們以種皮破裂且發芽 0.2 公分的標準，確認發芽狀況，記錄 8 天各組綠豆重量與發芽顆數。

實驗數據：

組別 量測 數據	無電壓環境			3 伏特電壓環境			21 伏特電壓環境		
	發芽 數量	吸水量 (公克)	總重量 (公克)	發芽 數量	吸水量 (公克)	總重量 (公克)	發芽 數量	吸水量 (公克)	總重量 (公克)
第 1 天	0	0.4	113.9	0	0.5	115.4	0	0.4	114.5
第 2 天	0	0.5	111.9	0	0.7	113.2	0	0.6	112.4
第 3 天	0	0.8	108.7	0	0.6	110.2	0	0.7	109.3
第 4 天	0	0.2	106.1	0	1	106.8	0	0.8	106.1
第 5 天	0	0.4	103.1	0	1.1	103.1	0	0.7	102.8
第 6 天	0	0.1	99.8	0	0.8	99.1	0	0.9	98.7
第 7 天	0	0.3	96.1	0	0.5	95.2	0	0.8	94.5
第 8 天	0	0.1	93.5	0	0.4	92.3	0	0.2	91.8

綠豆在鹼性溶液內，生長反應受電場環境影響圖



組別	無電壓環境	3 伏特電壓環境	21 伏特電壓環境
第 2 天			
第 4 天			
第 6 天			
第 8 天			

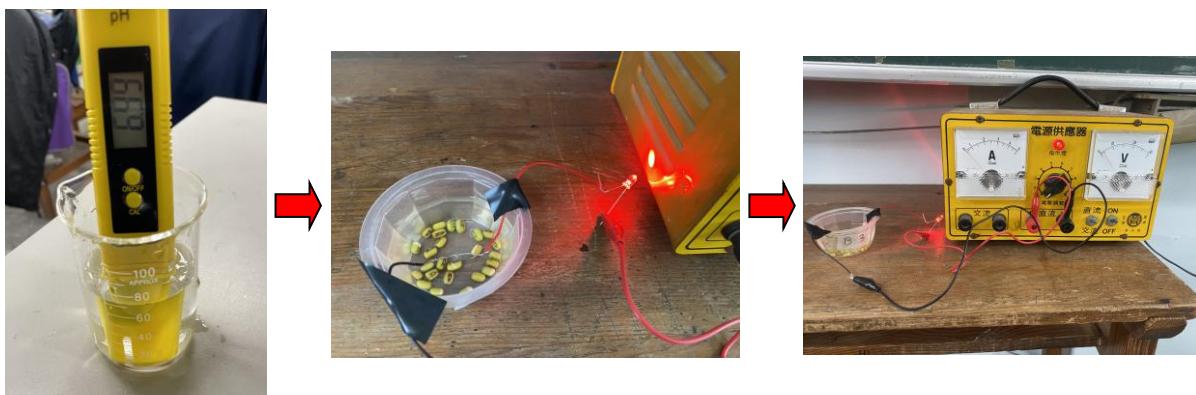
實驗結果：資料顯示，綠豆不易在鹼性環境中生長，經由實驗證實，全部綠豆都沒有發芽，且只有兩顆綠豆種皮破裂。從第四天起，水的顏色變深，與綠豆在純水或酸性溶液實驗的水溶液顏色明顯不同。

實驗八：水中直接通電，對綠豆發芽影響

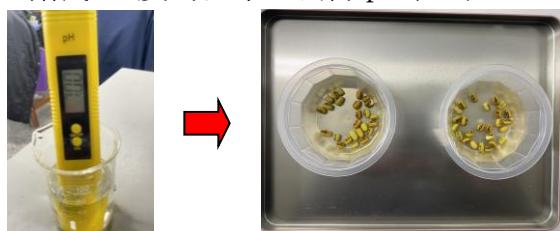
從前面實驗可知，pH 值為 2 的檸檬酸水溶液與弱鹼性的碳酸氫鈉水溶液，對於綠豆發芽有明顯抑制效果，但我們也發現電場對於綠豆發芽有些微程度的影響。於是我們經過討論，因為水溶液中電流傳遞均依賴水溶液中的電解質為主，但中性水不導電，酸性與鹼性水溶液又會影響綠豆發芽，因此我們想直接在水溶液中連接電線，透過電流直接傳導，測試是否更能直接影響綠豆發芽。

實驗步驟：

(一)、因為擔心 21 伏特直流電會造成危險，所以本實驗只以 3 伏特直流電為主。第一組為實驗組，準備每碗 25 顆綠豆，共計 2 碗，總數量為 50 顆綠豆。並在每碗加入 50 毫升，攝氏 25 度的純水，測得 pH 值為 6.99。將電線直接放入水溶液中導電，並使用電源供應器供應 3 伏特電壓，產生穩定電場，每天供電時間從早上 8 點到下午 4 點。



(二)、第二組為對照組，準備每碗 25 顆綠豆，共計 2 碗，總數量為 50 顆綠豆。並在每碗加入 50 毫升，攝氏 25 度的純水，測得 pH 值為 7.00。置於相同環境中，但無任何電場影響。



(三)、取另一個相同容器，加入攝氏 25 度，50 毫升的水，每天記錄氣溫與水蒸發量，用以比對綠豆真正吸水重量。

$$\text{綠豆吸水重量} = \text{綠豆減少重量} - \text{蒸發量}.$$

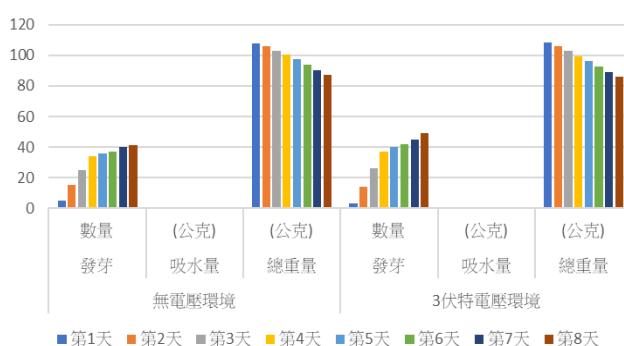


(四)、我們以種皮破裂且發芽 0.2 公分的標準，確認發芽狀況，記錄 8 天各組綠豆重量與發芽顆數。

實驗數據：

組別	無電壓環境			3 伏特電壓環境		
	發芽 數量	吸水量 (公克)	總重量 (公克)	發芽 數量	吸水量 (公克)	總重量 (公克)
第 1 天	5	0.4	107.8	3	0.5	108.2
第 2 天	15	0.7	105.6	14	0.9	105.8
第 3 天	25	0.1	103.1	26	0.8	102.6
第 4 天	34	0.2	100.5	37	0.7	99.5
第 5 天	36	0.6	97.3	40	0.6	96.3
第 6 天	37	0.2	93.9	42	0.5	92.6
第 7 天	40	0.3	90.2	45	0.3	88.9
第 8 天	41	0.4	87.3	49	0.3	86.1

水中直接通電，對綠豆發芽影響



水中直接通電，綠豆發芽數量圖



組別	無電壓環境	3 伏特電壓環境
第 2 天		
第 4 天		
第 6 天		
第 8 天		

實驗結果：在水中直接通電時，綠豆發芽率為 98%，大於無通電環境的綠豆發芽率 82%。

實驗九、使用統計概念來進行資料分析

由於我們需要將實驗數據做進一步分析，以確定是否靜電電場會影響綠豆發芽生長，於是我們使用 ChatGPT 協助將我們實驗結果作統計分析。主要以「實驗八：水中直接通電，對綠豆發芽影響」為主進行分析。

一、「實驗八：水中直接通電，對綠豆發芽影響」描述性統計：

組別	平均值 (Mean)	標準差 (Std Dev)	中位數 (Median)	最小值 (Min)	最大值 (Max)
無電壓環境	29.13	13.04	35.0	5	41
3V 通電環境	32.00	16.25	38.5	3	49

描述性統計分析結果：

- (一)、3V 通電環境的平均發芽數 (32.0) 高於無電壓環境 (29.13)，但標準差較大，表示數據分布較分散。
- (二)、中位數顯示 3V 通電環境的發芽數中間值 (38.5) 高於無電壓環境 (35.0)，進一步說明通電有潛在影響。

二、「實驗八：水中直接通電，對綠豆發芽影響」卡方檢定：

目標：檢測有無通電 (3V) 對綠豆發芽的影響是否具有統計顯著性。

1. 建立假設

- 虛無假設 (H_0)：通電與否不影響綠豆發芽率，發芽比例相同。
- 對立假設 (H_1)：通電與否會影響綠豆發芽率，發芽比例不同。

2. 原始數據

組別	發芽數量	未發芽數量	總數
無電壓環境	41	9	50
3V 通電環境	49	1	50
總計	90	10	100

3. 計算期望值

使用期望值公式：

$$E_{ij} = \frac{(\text{行總計} \times \text{列總計})}{\text{總總計}}$$

計算期望值：

- 無電壓環境 · 發芽：

$$E = \frac{(50 \times 90)}{100} = 45$$

- 無電壓環境 · 未發芽：

$$E = \frac{(50 \times 10)}{100} = 5$$

- 3V 通電環境 · 發芽：

$$E = \frac{(50 \times 90)}{100} = 45$$

- 3V 通電環境 · 未發芽：

$$E = \frac{(50 \times 10)}{100} = 5$$

組別	發芽數量 (觀察值)	未發芽數量 (觀察值)	發芽數量 (期望值)	未發芽數量 (期望值)
無電壓環境	41	9	45	5
3V 通電環境	49	1	45	5

4. 計算卡方統計量

卡方統計量的公式：

其中：

$$\chi^2 = \sum \frac{(O - E)^2}{E}$$

- O 為觀察值
- E 為期望值

計算：

$$\chi^2 = \frac{(41 - 45)^2}{45} + \frac{(9 - 5)^2}{5} + \frac{(49 - 45)^2}{45} + \frac{(1 - 5)^2}{5}$$

$$\chi^2 = \frac{(-4)^2}{45} + \frac{(4)^2}{5} + \frac{(4)^2}{45} + \frac{(-4)^2}{5}$$

$$\chi^2 = \frac{16}{45} + \frac{16}{5} + \frac{16}{45} + \frac{16}{5}$$

$$\chi^2 = 0.356 + 3.2 + 0.356 + 3.2$$

$$\chi^2 = 7.11$$

5. 查找 p 值

- 自由度 (df) = (行數 - 1) × (列數 - 1) = (2-1) × (2-1) = 1
- 查詢 卡方分布表 或使用統計函數計算：

$$p = P(\chi^2 \geq 7.11, df = 1)$$

統計分析結果：

卡方統計量 (χ^2) = 7.11	p 值 = 0.0114	自由度 (df) = 1
---------------------------	--------------	--------------

結論：由於 p 值 = 0.0114 < 0.05，表示我們可以拒絕虛無假設 (H_0)，也就是說，水中直接通電 (3V) 顯著影響綠豆的發芽率。在 3V 通電環境中，發芽率顯著提升。這表示直接通電有助於提高綠豆發芽的機率，可能是因為電流促進了水的流動或細胞的生理反應。

肆、研究結果

本研究探討靜電電場對綠豆發芽的影響，發現靜電場會使水流偏折 5 至 7 度，顯示其對水流方向具影響力。然而，在靜電環境中，綠豆的發芽率未顯著提升，僅種皮破裂數增加，顯示靜電可能改變種子結構，但不一定能促進發芽。在 3V 與 21V 電場中，發芽率較無電場環境提升約 10%，顯示適當電場可能有助於發芽，但長期供電可能影響水質，需進一步研究。強酸(pH=1.74)與弱鹼(pH=8.28)環境均抑制發芽，顯示極端 pH 值不利於綠豆發芽。值得注意的是，水中直接通電 3V 時，發芽率提升至 98%，遠高於無通電環境的 82%，顯示電流可能影響水分吸收與種子代謝。本研究證實適當電場與直接通電可提升發芽率，但影響機制仍需進一步探討，未來可研究不同電壓或電流對植物發芽與生長的長期影響。

伍、討論

一、靜電影響水流：

- (一)、研究發現，水流在靜電場影響下會產生偏折，偏折角度約 5 到 7 度，顯示靜電場對水流方向具有一定影響。
- (二)、偏折現象在水流量較小時較明顯，而水流量較大時影響減弱，推測與靜電力的作用範圍有關。
- (三)、這可能暗示靜電場可影響植物的水分吸收，影響種子的發芽與生長。

二、靜電環境對綠豆發芽的影響：

- (一)、在靜電環境下，綠豆的種皮破裂率較高，但實際發芽數量比無靜電環境低，顯示靜電可能影響種皮結構，但未必有利於發芽。
- (二)、靜電可能影響水分與養分的傳遞，改變綠豆的生理過程。
- (三)、綠豆總重量變化不大，顯示靜電場對發芽的影響可能較短暫，未改變植物的總體生長量。

三、不同電壓對綠豆發芽的影響：

- (一)、在 3V 與 21V 電場環境下，發芽率較無電壓環境高 10% 左右，顯示適當電場可能促進發芽。
- (二)、21V 組的發芽率略高於 3V，推測較強電場可能更能促進發芽過程。
- (三)、但長期供電時，水溶液變得混濁，且出現白色沉澱物，顯示電場可能影響水中物質的分解，進而影響發芽環境。

四、酸鹼環境的影響：

- (一)、在強酸（檸檬酸 pH=1.74）環境中，所有綠豆皆未發芽，僅 4 顆種皮破裂，顯示高酸性環境會嚴重抑制發芽。
- (二)、在弱鹼（小蘇打 pH=8.28）環境中，也無任何綠豆發芽，僅有 2 顆種皮破裂，顯示鹼性環境同樣對發芽不利。
- (三)、酸鹼溶液的水色變化顯示，化學成分的改變可能影響種子的吸水能力，進而阻止發芽過程。

五、水中直接通電的影響：

- (一)、3V 直流電直接通電的環境中，綠豆發芽率高達 98%，顯著高於無電場的 82%。
- (二)、發芽過程較快，種皮破裂後 2 天內即有大量發芽，顯示電流可能加速發芽機制。
- (三)、直接通電可能影響水的極性或種子細胞膜的滲透性，進一步影響水分吸收與發芽速率。

陸、結論

一、靜電場影響水流，但對綠豆發芽影響不明顯：

- (一)、靜電場會導致水流偏折，顯示其對液體運動具有影響力。
- (二)、然而，在靜電環境中，綠豆的發芽率未顯著提升，僅種皮破裂率增加，顯示靜電可能改變種子的結構，但不一定能促進發芽。

二、適當電場（如 3V、21V）可略微提升發芽率，但長期影響尚不明確：

- (一)、在 3V 與 21V 電場中，綠豆發芽率較高，顯示電場可能有一定的促進作用。
- (二)、但隨著實驗時間增加，水溶液變混濁，可能影響植物的後續生長，需進一步研究長期影響。

三、酸鹼環境對發芽影響極大，強酸或弱鹼皆會抑制發芽：

- (一)、強酸（檸檬酸）環境中，綠豆完全無法發芽，顯示低 pH 值不適合植物生長。
- (二)、弱鹼（小蘇打）環境中，綠豆同樣未發芽，顯示高 pH 值對發芽亦有抑制作用。
- (三)、這表明發芽環境的 pH 值須保持適中，以提供最佳發芽條件。

四、水中直接通電可顯著提高發芽率，值得進一步研究：

- (一)、3V 直流電通電環境下，發芽率達 98%，顯示電場可能促進水分吸收與種子代謝。
- (二)、此結果顯示直接通電可能比靜電場更有效，未來可探討更高電壓或不同電流類型（如交流電）對發芽的影響。

五、未來研究方向：

- (一)、探討不同電壓、電流類型對其他植物發芽的影響，以確認普遍性。
- (二)、分析電場對植物生長後期（如根系發育、葉片展開等）的影響，評估長期效果。
- (三)、研究電場影響細胞生理機制，如電場是否會改變細胞膜的通透性或影響生物化學反應。

柒、參考文獻資料

一、參考文獻

(1) 維基百科「靜電」簡介

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%9D%99%E7%94%B5>

(2) 中央研究院生物多樣性研究中心

<https://catalog.digitalarchives.tw/item/00/20/cc/8e.html>

(3) 維基百科「綠豆」簡介

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%BB%BF%E8%B1%86>

(4) 維基百科「范德格拉夫起電機」簡介

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%8C%83%E5%BE%B7%E6%A0%BC%E6%8B%89%E5%A4%AB%E8%B5%B7%E7%94%B5%E6%9C%BA>

(5) 范氏起電器

<https://phy.tw/project/all/item/206-item-title>

(6) 維基百科「檸檬酸」簡介

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%AA%B8%E6%AA%AC%E9%85%B8>

(7) 維基百科「碳酸氫鈉」簡介

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%A2%B3%E9%85%B8%E6%B0%A2%E9%92%A0>

(8) 農糧署「綠豆良好農業規範」

<https://www.afa.gov.tw/cht/index.php?act=download&ids=34567>

(9) 探討綠豆水抑制黴菌之效果與應用

<chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcgkclefindmkaj/https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/56/pdf/030322.pdf>

(10) 靜電產生器

https://www.youtube.com/watch?v=wOvP_nPWIXs

(11) 接地氣(Earthing)— 家用交流電下相關因子對人體電位之影響

<chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcgkclefindmkaj/https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/57/pdf/030119.pdf>

(12) 「靜」花「水」月 -靜電對液體的影響

<chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcgkclefindmkaj/https://w01.boe.ttct.edu.tw/science/files/04%E3%80%8C%E9%9D%9C%E3%80%8D%E8%8A%B1%E3%80%8C%E6%B0%B4%E3%80%8D%E6%9C%88%20-%E9%9D%9C%E9%9B%BB%E5%B0%8D%E6%B6%B2%E9%AB%94%E7%9A%84%E5%BD%B1%E9%9F%BF.pdf>

(13) 平行金屬板電場對白莧種子萌芽及後續育苗之影響

<chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcgkclefindmkaj/https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/63/pdf/NPHSF2023-052208.pdf>

(14) 綠豆發芽水抑制黴菌效果之探討

chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-2/2020/pdf/TISF2020-060007.pdf

(15) 電場下的極限運動-水滴帶電量之探討

chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/58/pdf/NPHSF2018-030107.pdf

二、參展心得

作者一：

這次參加的科展實驗，我們選擇了「靜電」為主題，在老師一步步的細心教導下，了解了關於靜電的事情，令我最印象深刻的是小標題中的「自製范氏起電器」。拆解了市面販售的靜電棒，發現與范氏起電器的構造相似，都有上下兩個軸，而且也是依靠馬達轉動帶動皮帶產生靜電，於是經過討論後，決定將自製的范氏起電器產生靜電環境，最後發現了有靜電環境的綠豆會比沒有靜電環境的綠豆容易發芽吸水。這次參展經驗對我來說是一個寶貴的學習機會。我們從構思題目到完成實驗，花了許多時間與心力，但最終成功驗證了電場對綠豆發芽的影響。最困難的是如何確保實驗變因一致，但透過多次修正，我們成功獲得穩定數據。這次研究讓我體會到科學探索的樂趣，也讓我學會堅持與團隊合作的重要性。我期待未來能挑戰更有趣的科學研究！

作者二：

在這次實驗中，我學到了電場對水和植物的影響，其中自製范氏起電器是最令我印象深刻的部份，反覆測試適合使用的器材，有時真的很沮喪，但透過大家一起打氣互相加油，讓我們知道團隊的可貴。而且實驗八的實驗結果，我們發現直接通電，能大幅度提高綠豆發芽率，讓大家信心大振！最後大家一起合作寫出報告，也讓我對自然科學與合作有不一樣的了解。過程中，我感受到「台上一分鐘，台下十年功」這種堅持、努力、不放棄的精神與心態。

科展的準備過程雖然辛苦，但讓我收穫滿滿。我們從日常生活中的靜電現象出發，發想並設計實驗，最後成功驗證了電場對植物發芽的影響。過程中，我們學會如何記錄數據、分析結果，甚至透過 ChatGPT 進行統計分析，讓研究更具說服力。這次參展不僅讓我增進了科學知識，也培養了耐心與解決問題的能力，未來我希望能參與更多科學研究，發掘更多奧祕！

作者三：

這次科展，我們以「靜電」為主題進行實驗，在老師的細心教導下，我對於靜電有相當程度的認識。我印象最深刻的是「靜電與水流的影響」。像我們常聽到手濕容易觸電，經過我們討論，我們將水龍頭下方放置燒杯，並以 3 伏特靜電棒，包入塑膠袋，觀察水流受到靜電的影響。參加這次科學展覽會讓我深刻體會到科學研究的嚴謹與樂趣。我們設計並進行了多次實驗，探討不同電場環境對綠豆發芽的影響，發現適當的電場可能促進發芽，但酸鹼環境則會抑制生長。從數據整理到結果分析，每一步都充滿挑戰，但當我們成功找到關聯時，內心充滿成就感。這次經驗讓我更有信心探索未知，也提升了我的團隊合作與解決問題能力！

作者四：

這次參加科展，我學到了很多有關靜電與植物生長的知識。透過反覆實驗與數據分析，我發現靜電場能影響水流，甚至可能改變綠豆的發芽過程。雖然過程中遇到許多挑戰，如控制變因、操作變因設定與製作靜電裝置，但透過團隊合作，我們克服了難題，並成功完成研究。實驗過程中，我看到了每個成員的努力，大家互相合作的精神，對我來說是真正的收穫。從實驗開始到結束，都是嶄新的體驗，成員與老師互相溝通，磨擦出不同的火花。把自然老師所教的知識，落實到科展實驗中。大家的體貼與配合讓團隊更加融合，我們有信心通過任何難關。這次經驗讓我更了解科學探究的樂趣，也激發我對未來進一步研究的興趣！