

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 農業與食品學科

探究精神獎

052208

平行金屬板電場對白莧種子萌芽及後續育苗之
影響

學校名稱：新北市私立辭修高級中學

作者： 高二 白佳加 高二 廖育嫻 高二 陳璿盛	指導老師： 蔡政諺
---	------------------

關鍵詞：直流電靜電場、發芽率、作物生長速率

摘要

本實驗目的為「探討平行金屬板間之靜電場，白莧種子在其內萌芽及後續育苗之影響」，以 2V/cm、4V/cm 作為在電場下培養的實驗組，0V/cm 作為在一般環境下對照組，分別記錄第一天至第四天之累加發芽率，以及第十天至第十五天之累加出葉率。實驗結果發現，電場愈大，成功發芽的機率較高，且有助於加快白莧菜之生長速率。

壹、前言

一、研究動機

近幾年來，天氣的劇烈變化、氣候變遷、人口上升以及國際衝突等，加上人類飲食習慣不佳，糧食短缺的問題日漸上升，而極端氣候使降水減少、高溫不斷，導致農業作物產量下降（Greenpeace 綠色和平，2022）。而這樣的氣候變遷，目前有一項為了防備全球糧食危機的計畫——種子方舟——正在進行著，簡易來說，就是用低溫來保存種子，並使用特製的三層熱密封包裝使種子乾燥（洋味兒，2019），含水量低且在低溫的環境下，種子的壽命會延長，而發芽率也會下降（郭華仁，2015）。為了使這些珍貴種子發芽率提高且生長速率提升的方法，且能降低農業對環境造成的污染程度，我們找到了相關的生物技術——高壓靜電場，這項技術能使生物的膜電位產生變化，可能會抑制或提高生物的新陳代謝、呼吸作用的功能，也有促進植物發芽率的可能（王奕程、方煒，2006）。我們推測透過這項技術，能夠使原本低溫保存於「方舟」內的種子，提高其發芽率以及生長速率，且關於電場對於生物的相關研究在台灣目前並不普及，希望可以藉由此次探究與實驗有所收穫。

與「電場與作物栽培」相關的研究、論文或實驗，在操作上都是使用精密儀器或是自製的實驗裝置，不過在簡單來說，其實就是作物在電場中培養，若是要用簡易的裝置來製造電場，又該如何製造，才能省下製作以及儀器成本。因為電荷的方向是由「正極到負極」，因此結合資料與構想，我們想到了可以使用通電後的平行金屬板製造電場，雖然所使用的直流電電源之電壓單位大小比找尋到的相關實驗還要小（千伏特，kV），無法確定效果是否符合我們的預期以及明顯性，但基於探究的精神，我們開始探討「電場與植物生長的關係」。在討論過研究限制，以及決定好實驗的種植作物後，最後決定以「電場環境對白莧萌芽及生長初期之影響」為題，並展開一系列之實驗與談討。

二、文獻回顧

在現今社會中，生物科技的發展已愈來愈先進，隨著時間推移，已有千百種技術正在發展。其中高壓靜電場之技術開始發展，其對於生物科技各方面之發展都有顯著的影響，如蔬果保鮮、促進植物生長、增加種子發芽率、提高苗株內部之酵素活性、人體疾病治療、殺菌

作用等方面（王奕程、方煒，2006），而此技術在台灣尚未普及，但在未來是潛在的市場。

關於電場對植物生長的影響，有幾篇相關的論文、研究報導可以顯示。植物在直流電場中的發展，目前在 2010 年第十屆 IEEE 國際會議上，已經有發表出在直流電場中，會對蘿蔔的生長產生影響，不只是增加了種子的發芽率，在生長的長度、以及重量上都比一般作物都有差異（T. Okumura, Y. Muramoto and N. Shimizu，2010）；在高壓靜電場下的水稻試驗處理，對於發芽率以及發芽趨勢也有影響（張本華等人，2006）；而暴露在靜磁場中的葵花子，發芽的速度、幼苗的長度與乾重，在試驗過後也有顯著的成長，而有經過靜磁場處理過後的種子， α -澱粉酶（ α -amylase）、脫氫酶（dehydrogenase）和蛋白酶（protease）在其中的含量較對照組來得高，也就是說活性相對顯著（Ananta Vashisth, Shantha Nagarajan, 2010）。也有相關領域的學者指出，靜電場對於其他的酵素，如過氧化氫酶（catalase）、果酸酶蛋白酶之活性也會造成影響（王奕程、方煒，2006）。而高壓靜電場應用於生物科技上在近年來比例也逐年提高，包括在作物種植的方面；高壓靜電場能提高葉綠素的總含量，使葉片在靜電場下累積的養分增多，增加了葉片的厚度、單位面積等，進而增加了光合作用的速率；而高壓脈衝電場對於生菜栽培的影響，因為增快了光合作用的速率，也使得化學能增加（ATP 和 NADPH）（Wang, D.等八位，2022），脈衝電場（PEF）對於作物產量的提高不只是在植物界有所影響，對於真菌界也有相關的影響，有關於的秀珍菇之研究顯示，脈衝電場使得秀珍菇的產量、營養價值皆有提升的趨勢，在高壓電場的刺激下，也使其中的有機化學能的含量增加，抗氧化的活性也有不錯的表現（鍾士凱，2018）。

從上述文獻資料中可以結論出，脈衝電場（PEF）對於不只是對於作物，在生物科技方面也都有具體的影響，雖然台灣目前在這方面的發展還有待開發，不過這項技術對於各方面的產業發展，因為打破了傳統產業，對於環境的外部成本也比其他化學性物質的傷害或其他影響來得小，對於未來在全球的發展可以說是非常具有潛力。

三、研究目標

（一）藉由比較在不同大小的電場下，白莧在第一天至第四天之發芽率，並探討在不同電場強度下之白莧發芽情形及其關聯性。

（二）比較在不同大小的電場中培養五天後之白莧，在一般環境下之出葉率（本葉），並探

討不同電場強度之白莧及其關聯性，以及找出對作物最有利之電場大小。

貳、 研究設備及器材

一、 實驗作物——白莧之生長特性及介紹

莧菜性喜溫暖氣候，不耐寒，種子發芽適溫在攝氏 20~35 度，10 度以下則不發芽。生長快速，對水分與養分的吸收力強，需要在日照充足的環境下生長。

此次實驗選擇的品種為白莧 53 號（農友）：全株為淡黃綠色，生長較慢，風味較淡，品種中品質較優，為台灣目前的主流品種（李碩朋，1911；許苑培、嚴勝雄，2008）。因方便觀察與紀錄，對養分的吸收力較強，發芽較快，也容易取得（李碩朋，1911），故選擇白莧作為觀察之研究材料。

二、 實驗器材：白莧 53 號（農友）、花寶二號、方格泡綿、泡綿蓋被、一格育苗箱

（176 孔）、漂白水（次氯酸鈉）、70%酒精、蒸餾水、紅銅片、鱷魚夾導線、紙板、塑膠盒、乾濕球濕度計、金剛砂氣泡石、水管、滴管、鑷子、培養皿、100ml 量筒。

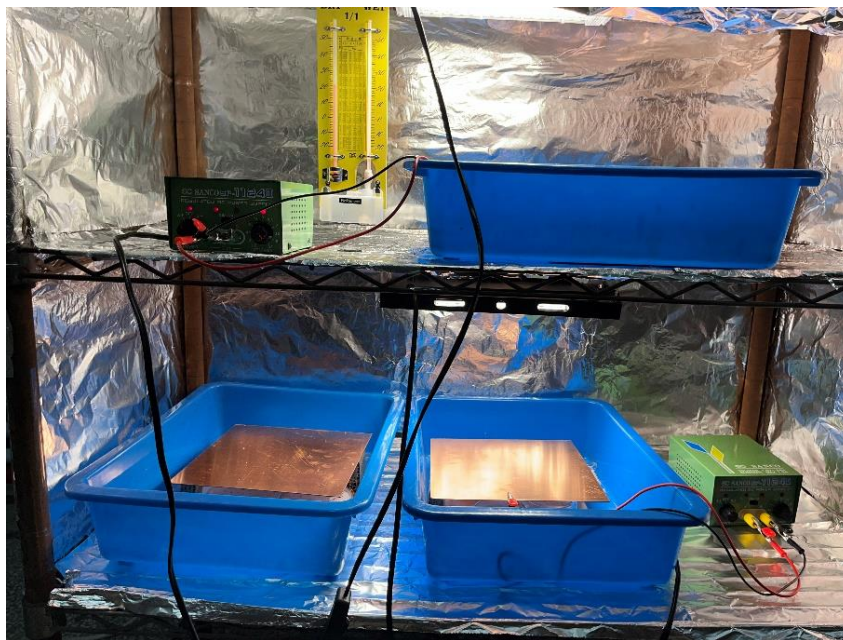
三、 實驗設備：直流電電源供應器、簡易自製植物生長箱（100W 太陽光植物生長燈、鋁箔、鷹架）、打氣機、插頭定時器、插座延長線、Excel 統計圖表。

參、 研究過程或方法

一、 自製植物生長箱（圖一、圖二）



圖一、生長燈架設置



圖二、實驗環境架設

(一) 材料用途：

1. 鋁箔紙：用於反射植物生長燈之光照，及避免被外圍光源影響；防止植物燈照明產生之熱能耗散，產生保溫作用。
2. 100W 太陽光植物生長燈：用於代替植物生長所需之日照光；生長燈所產生之熱能可用於加熱產生保溫作用，使植物在較溫暖之環境下生長，避免溫度太低導致生

長緩慢。

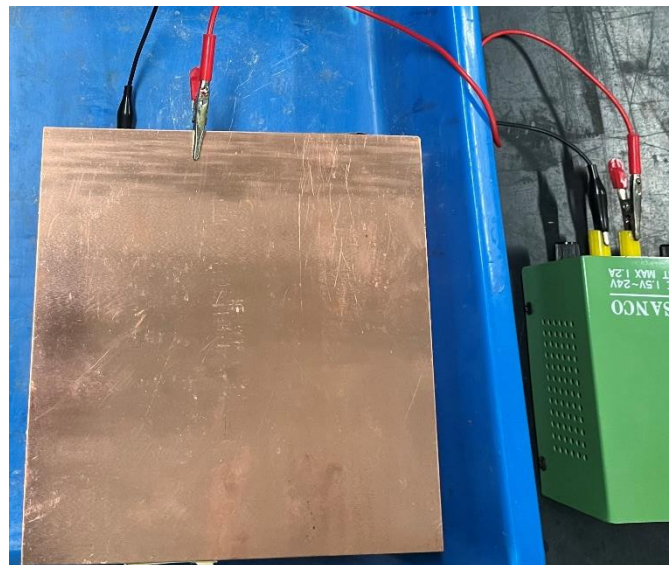
(二) 研究限制：第二階段時，因設置在「十六小時光照／八小時黑暗」之環境下生長，在「八小時黑暗」之環境中，因植物生長燈關閉無法產生熱能，故會有溫度差異。為了減少環境溫度之變化，我們將「八小時黑暗」的時間設置在白天（因白天溫度較高），反之，「十六小時光照」的時間設置在夜晚（因夜晚溫度較低），以減少溫度差異。

二、製造平行金屬板電場

(一) 電場製造原理：在固定距離下的兩平行金屬板，通以直流電電流（上正下負），產生方向向下之靜電場。

(二) 自製平行金屬板電場：

1. 將兩大小為 $20*20*0.1$ 公分³ 之金屬紅銅片，利用厚紙板架高，並固定相距六公分。
2. 利用直流電電源供應器，將金屬片通以電流，上方通正電荷，下方通負電荷，產生方向向下之靜電場，如圖三。



圖三、平行金屬板電場架設

3. 一組電場大小為 4 V/cm ($24\text{V}/6\text{cm}$)，另一組電場為 2 V/cm ($12\text{V}/6\text{cm}$) (利用電場公式: $V=Ed$ 計算得知)。下圖為計算過程：

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m}/\text{A}$$

$$\epsilon_0 \approx \frac{1}{c^2 \mu_0} \approx 8.8541 \times 10^{-12}$$

$$\epsilon_r \text{ 空氣} = 1.0053 \times \epsilon_0$$

$$\sigma = \text{電荷密度}$$

$$S = \text{面積} \Rightarrow 400 \text{ cm}^2$$

$$V = 40 \text{ cm}^3$$

$$C = \text{電容}$$

$$U = \text{電壓}$$

$$E = \frac{U}{\epsilon_0 \epsilon_r S}$$

$$C = \frac{Q}{U} \Rightarrow Q = CU$$

$$= \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d} U$$

$$\boxed{24V} \Rightarrow \frac{\epsilon_0 \cdot 1.0053 \times 400 \text{ cm}^2}{6 \text{ cm}} \times 24 \text{ V}$$

$$\approx 1.255 \times 10^{-19} \text{ (V}\cdot\text{cm)}$$

$$\boxed{12V} \Rightarrow \frac{\epsilon_0 \cdot 1.0053 \times 400 \text{ cm}^2}{6 \text{ cm}} \times 12 \text{ V}$$

$$= \frac{1.255 \times 10^{-19}}{2} \text{ (V}\cdot\text{cm)}$$

$$\boxed{24V} : E = \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon_r S} \approx \frac{1.255 \times 10^{-19} \text{ V}\cdot\text{cm}}{3.1375 \times 10^{-20} \text{ cm}^2} \approx 4 \text{ V/cm}$$

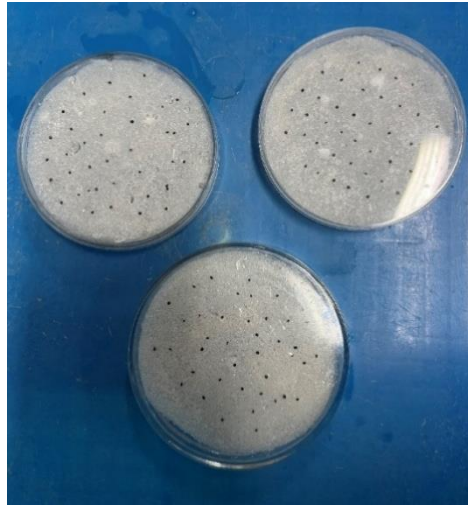
$$\boxed{12V} : E = \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon_r S} \approx \frac{\frac{1}{2} \times 1.255 \times 10^{-19} \text{ V}\cdot\text{cm}}{3.1375 \times 10^{-20} \text{ cm}^2} \approx 2 \text{ V/cm}$$

三、實驗組及對照組

本實驗期望探討出不同電場大小對白莧發芽初期之影響，故設置電壓 2V/cm、4V/cm 通以電流製造電場並作為實驗組，在無電場 (0V/cm) 之環境作為對照組。為了提高實驗的準確性，一組實驗組或對照組，其中皆有三組相同條件之樣本(分為 a, b, c 三組)，如圖四、圖五。



圖四、電場內的實驗組



圖五、無電場對照組

實驗將分為以下步驟：

(一) 消毒白莧種子，以避免農藥殘留或是在實驗過程時細菌滋生：

1. 選取實驗用的白莧種子，將其泡入自來水中清洗，並挑選有沉澱之種子。
2. 使用濃度 70%酒精消毒一分鐘。
3. 將漂白水（次氯酸鈉水溶液）稀釋五倍，並加入一滴洗碗精（代替 TWEEN-20），並將實驗用種子泡入，並待其三十分鐘。
4. 待三十分鐘後，將浸泡過後之白莧種子用蒸餾水將溶液清洗乾淨（沖洗三至五次）。

(二) 實驗天數總共十五天，將實驗階段分為二階段，分別為「在電場中的發芽率」以及「正常培養下實驗組及對照組之出葉率」：

1. 第一階段（第一天至第四天）：

- (1) 實驗組和對照組分別在無照光且溫度條件相同的環境下，在每組培養皿中充滿水份之泡棉蓋被上，放上三十顆以上之白莧種子，蓋上培養皿之上蓋，以維持培養皿中的濕度。
- (2) 在第一階段期間，每天晚上八點固定計算各組的發芽情形，以「胚根突破種皮」視作發芽。
- (3) 研究限制：發芽培育之環境為無光照，為了減少徒長的影響，將在電場中培育的時

長定為四天。

2. 第二階段（第五天至第十五天）：

- (1) 將第一階段之實驗組及對照組成功發芽之植株移植至水耕培養箱（圖六），並在溫度、濕度條件相同下，在十六小時光照／八小時黑暗之環境下生長。



圖六、水耕培養箱，並將不同電場下生長的白莧樣本作分割

- (2) 用花寶二號稀釋一千倍，作為水耕培養之肥料。並將植物送進水耕培養箱，再將其放入自製的植物生長箱中進行栽培。
- (3) 在第二階段期間，每天晚上八點固定觀察發育情形。以「本葉生長出頭」視作出葉。若實驗組或對照組其中有出葉情形發生，將從當天開始記錄各組之出葉情況。

四、不同電場大小對白莧種子萌發之影響

為探討電場大小對白莧種子萌發之影響，以第一階段（第一天至第四天）各組之萌芽率之比較來進行討論。

（一）將第一天至第四天的實驗組 4V/cm、2V/cm，以及對照組 0V/cm 之萌芽數量/總顆數輸入至 Excel，分別計算出 4V/cm、2V/cm、0V/cm 之平均值、標準差，以計算各組之發芽率。

（二）將統計後之實驗數據製成折線圖表，並用標準錯誤製作誤差線。

五、在不同電場下發芽培育過後之白莧植株在正常培養下之出葉情形

為探討在不同電場中培育過後之白莧植株，在正常培養下之生長情形，以比較各組出葉率之大小來進行討論。

(一) 將第十天至第十五天的實驗組 4V/cm、2V/cm，以及對照組 0V/cm 之出葉植株數量/植株總數量輸入至 Excel，別計算出 4V/cm、2V/cm、0V/cm 之平均值、標準差，以計算各組之出葉率。

(二) 將統計後之實驗數據製成折線圖表，並用標準錯誤製作誤差線。

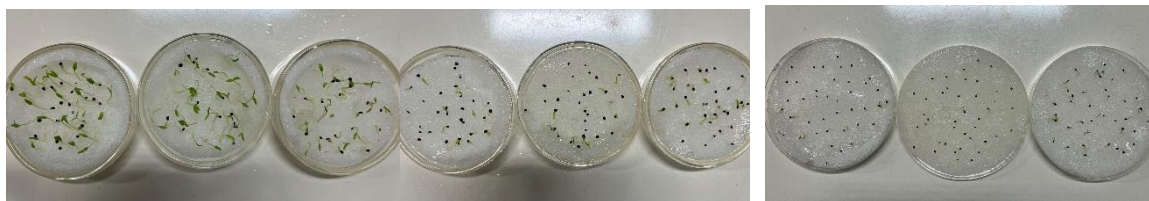
(三) 植株總數量：在實驗最後一天計量。以持續生長、無死亡（根系腐爛、枯萎等情形）之植株作為植株總數量之條件。

肆、研究結果

一、不同電場下對白莧發芽之影響

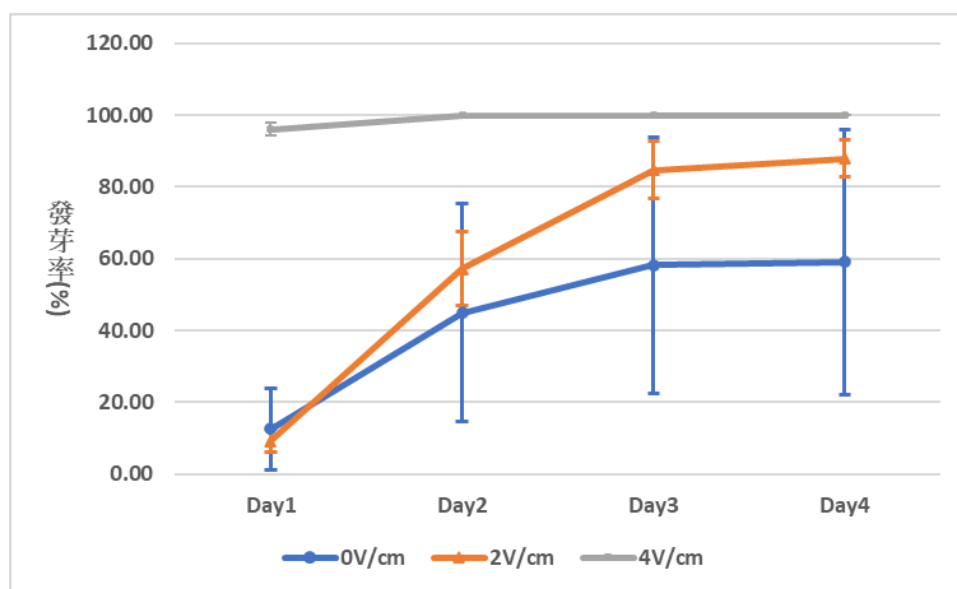
在第一階段期間（第一天至第四天），在飽和溼度的培養皿中將實驗組與對照組進行了不同大小電場對於白莧育苗之試驗，將實驗數據製作成圖表，以 0V/cm 之對照組，以及 2V/cm、4V/cm 之實驗組，總共三組，並將三組在四天內的發芽率進行比較，橫軸為三組不同電壓的電場，縱軸為發芽率之數值。從下方圖十中三組的平均值可以發現，在電場最大的 4V/cm 實驗組下發芽之白莧種子，在第一天生長就幾乎達到了 95% 的發芽率，也就是說幾乎大部分在 4V/cm 電場中的種子皆有發芽；而 2V/cm 實驗組的發芽率在第一天雖然與 0V/cm 無電場之對照組比較後低了些許，不過在第二天的上升趨勢明顯提高。而 4V/cm 的電場下之種子，在第二天就達到了百分之百的發芽率；2V/cm 則是在第二天時，發芽率超過無電場的對照組，在第二天、第三天的發芽趨勢有了顯著的上升，在第四天時的發芽率則達到了 87.78%；而 0V/cm 的發芽情形，雖然在第二天時有稍微明顯的上升幅度，但在第三天及第四天時，發芽率的趨勢就逐漸趨緩，第四天只達到了 59%。經過圖表中各組平均過後的發芽率之比較，可以結論出不同電場下對白莧種子發芽率的影響，對成長最有效果之電場大小排序為 4V/cm>2V/cm>0V/cm。

從 2V/cm 及 0V/cm 兩組標準差（以百分比為單位）的比較下可以發現，在無電場環境中的標準差明顯大於 2V/cm 有電場的環境，也就是說無電場下發芽的種子數量，a、b、c 三組相同條件的樣本下，都有極大的差異；而 2V/cm 的電場下，誤差線明顯比無電場小，故相同條件的樣本下，種子發芽的數量差異不大。



上圖中三組白莧種子在不同大小電場下，第一天之發芽情形。由左至右分別為

圖七：4V/cm 實驗組；圖八：2V/cm 實驗組；圖九：0V/cm 對照組



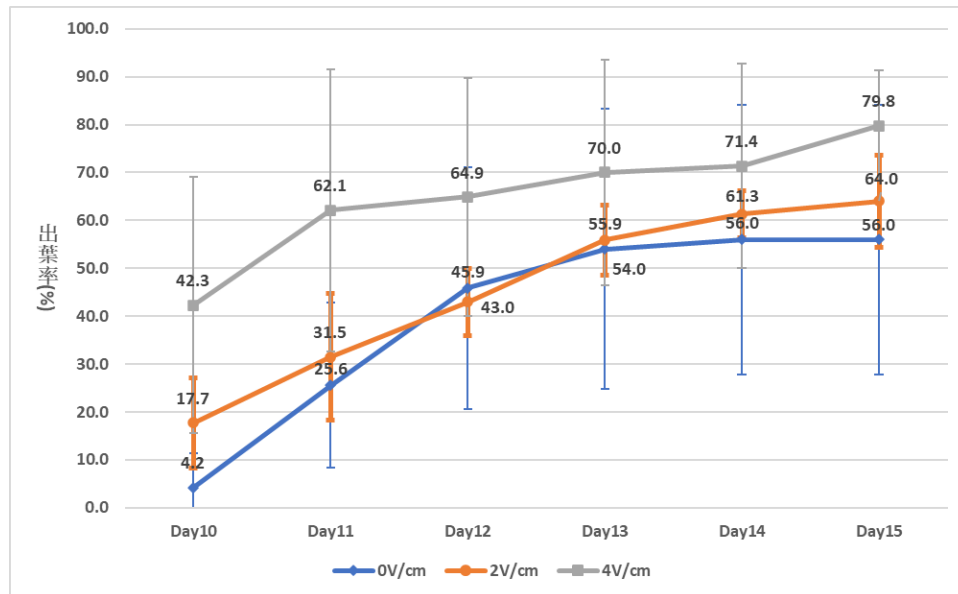
圖十：不同大小電場下白莧種子之發芽率

二、在電場中發芽培育過後之白莧苗株在正常環境下的出葉情形

我們將在電場中培育過後之白線苗株，放置至正常環境下培養，並統計各組在本葉生長（第五到九天尚未出葉，因此從第十天開始測量至第十五天），如圖十一。比較各組在五天中的出葉率，無電場の出葉率趨勢在最後三天逐漸趨緩；而 2V/cm 電場下白莧の出葉率上升的幅度較為一致；4V/cm 電場下白莧の出葉率比前面兩者皆高，從第十一天至第十四天的出葉率趨勢雖然上升幅度較小，但在最後一天的上升幅度有些許提高。將各組の出葉率平均值比較過後，可以得知，不同大小電場下對白莧菜出葉率之影響，生長效果較佳之大小的排序為

4V/cm>2V/cm>0V/cm。

而各組誤差線的比較，2V/cm 的標準差較其他兩組皆還要小，比較沒有明顯差異；而無電場之誤差線幅度較大，可以推測 a、b、c 三組之出葉植株數量差異甚大；而 4V/cm 電場下的標準差，觀察其後，誤差線的長度有變小的趨勢，也就是說在出葉後期幾天，a、b、c 三組之出葉植株數量會逐漸一致。



圖十一：不同大小電場下白苜植株之出葉率

伍、討論

一、不同電場強度影響白苜之發芽率

為了記錄不同樣本的生長速率，我們選擇以累加每天的發芽率，作為生長速率的依據，並比較在不同電場下白苜的生長速率。經由比較過後，電場強度最大的 4V/cm，生長速率最快，並且在第二天，發芽率就已達到了 100%。根據實驗結果顯示，並結合研究「電場對於伊朗苜蓿種子萌芽及生長的影響 (Saeed Rezaei - Zarchi 等人, 2012)」的結論也可以推得，電場不只可以影響內部離子的運動，引起細胞分裂及植物生長，適當的電場強度有助於發芽、生長以及新陳代謝。

二、不同電場強度影響白苜之本葉數量

計算方式如同討論一的發芽率，以第一片本葉出現視作出葉，並記錄累加出葉率，作為生長速率的第二項依據。而出葉率在本實驗中的目的，是為了探討發芽初期被施加電場後的白莧菜，在後續停止施加電場生長時，是否會繼續維持發芽時的情形——電場強度愈強、生長速率愈快，抑或可能會因環境因素差異而緩速或是停止生長。而從實驗結果可以推論出，本次實驗所使用的電場強度並不會導致上述後者的結果，但若使用電場強度達到千伏特的單位，使得生長環境因素變化太大，可能造成抑制甚至是無法生長。

三、實驗限制

本次實驗因研究設備限制及安全規格考量，無法進行到大規模、高壓靜電場等規格的實驗，故以電壓最高單位到 24V 的直流電電源供應器作為本次實驗設備，雖然條件無法達到文獻探討中所提及的規格，沒辦法在同樣的標準下進行比較，但希望能在此次實驗後繼續延續，並且擴大、改進及創新這次的研究方法，增加在未來發展的可能性。

陸、 結論

從研究結果中可以得知，電場對於白莧種子的發芽、生長速度，具有明顯的影響，而不論是發芽率或是出葉率，4V/cm 電場皆在兩者統計資料中佔據第一，其二為 2V/cm，最後為無電場。

而從不同電場下之發芽率的圖中可以發現（圖十），標準差在無電場下的誤差線長度最大，其次為 2V/cm，推測出電場對於種子發芽，可能為種子內之酵素活性因被靜電場激發，可以增加其整體生的穩定性（Ananta Vashisth, Shantha Nagarajan, 2010）（王奕程、方煒，2006），故生長的情形較為統一，而從發芽率標準差大小的比較下，推測對於作物生長的穩定性將會隨電場大小提升。

在各組出葉率之比較過後，靜電場 4V/cm 下生長之白莧苗株，出葉率的平均大小在五天內皆為最高，其次為 2V/cm 之實驗組，最後為 0V/cm 之對照組，可以推測出生長速度會隨著靜電場的大小而提升，在電壓愈大的電場下，生長速度會愈快。而標準差在無電場之對照組下，誤差線長度最大；在有電場之兩組實驗組中，標準差大小相差不大，故將出葉率在實驗

組與對照組之標準差進行比較過後，推測在無電場下之白莧菜苗株，出葉的數量差異非常大，而在有電場下培養過後之實驗組，回到正常環境中培養，而 4V/cm 之標準差比 2V/cm 之標準差大，推測 4V/cm 電場培養過後之植株因減去了電場的條件，內部之活性物質回到了一般環境之條件下，因兩者環境條件相差較大，故在剛回到一般環境時，整體的標準差較 2V/cm 大，不過在第十五天已逐漸趨緩，而 2V/cm 因為生長在中間大小之電場下，故回到正常環境下時，環境條件之差異較無 4V/cm 大，故表中之標準差（誤差線）數值較小。

綜觀參考文獻資料與此次研究的結果，可以推論出電壓愈高之靜電場，對於作物在種子育苗、生長階段皆有顯著的效益。雖然在一般電壓下與高壓電脈衝電場，在生長方面高壓電脈衝電場的生長效果明顯高於在一般電壓之電場下生長之作物，不過比較過對照組後，皆可以推論出電場的有無皆會影響至作物、更或是生物的發展。在未來的產業發展中，高壓電電場已經是趨勢，若是在台灣有相關的研究或論文正在進行，對於日後產業發展皆有幫助，在全球發展更是有機會可以佔有一席之地。

柒、參考文獻資料

1. T. Okumura, Y. Muramoto and N. Shimizu, 2010. "Acceleration of plant growth by D.C. electric field," *2010 10th IEEE International Conference on Solid Dielectrics*, Potsdam, Germany, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICSD.2010.5568265.
2. Ananta Vashisth, Shantha Nagarajan. 2010. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. *Journal of Plant Physiology*, Volume 167, Issue 2, Pages 149-156, ISSN 0176-1617.
3. Wang D, Hayashi Y, Enoki T, Nakahara K, Arita T, Higashi Y, Kuno Y, Terazawa T, Namihira T. Influence of Pulsed Electric Fields on Photosynthesis in Light/Dark-Acclimated Lettuce. *Agronomy*. 2022; 12(1):173.
4. Saeed Rezaei-Zarchi, Saber Imani, Hekmate Alikhani Mehrjerdi, Mohammad Reza Mohebbifar. 2012. The Effect of Electric Field on the Germination and Growth of *Medicago Sativa* Planet, as a native Iranian alfalfa seed. *Acta Agriculturae Serbica*. Vol. XVII, 34 (2012) 105-115.

5. Abhimanyu Kumar, Om Prakash Pandey, Causal theory on acceleration of seed germination in the vicinity of high voltage direct current transmission line, Journal of Theoretical Biology, Volume 531, 2021, 110899, ISSN 0022-5193.
6. David Halliday (physicist), Robert Resnick (2020). Halliday and Resnick's Principles of Physics, 11th Edition, Global Edition. 21 Coulomb's Law, 22 Electric Fields, 23 Gauss' Law. 21-1 Coulomb's Law, 23-1 Electric Flux, 23-5 Applying Gauss' Law: Planar Symmetry. P.532(21-5)(21-6), P.570 Electric Flux ~P.571 23-2, P.583, P.584.
7. 吳旭宏。2005。高壓靜電場對甜瓜種子萌發及幼苗生長的生物學效應。北方園藝 2005(3):67-68。
8. 吳旭宏。2005。高壓靜電場對甜瓜種子萌發及膜脂過氧化的影響。種子。2005,1(24),26-29。
9. 吳旭紅。2005。靜電場對植物的生物學效應。黑龍江農業科學 2005(2):44-46。
10. 李碩朋。1911。利用簡易設施生產莧菜。花蓮區農業推廣簡訊。9(2):13-14。
11. 張本華、王君玲、陳彬、李成華。2006。高壓靜電處理對種子發芽率影響的試驗研究。《農業化研究》。第五期。139-140 頁。
12. 鍾士凱。2018。高壓脈衝電場對秀珍菇生長及發育之影響。載於國立屏東科技大學農學院食品科學系所。論文彙編(39)。國立屏東科技大學農學院食品科學系所。
13. 講義ノートチャンネル「数学・物理・化学」(2021年3月17日)。**【電磁気学】** ガウスの法則(平面状に分布している電荷)。
14. 張三慧。2008。大學物理學(電磁學):清華大學出版社。
15. 郭華仁。2015年12月14日。種子學。國立臺灣大學出版中心。
16. Greenpeace 綠色和平。2022年8月18日。2022世界糧食危機:氣候變遷、國際衝突、糧食分配不均,衝擊全球糧食價格。<https://reurl.cc/11mrkV>。
17. 洋味兒。2019年12月31日。世界末日之前,在冷酷異境搭建一座食物的諾亞方舟:北極圈內的世界種子寶庫。<https://reurl.cc/ZWbYRW>。

【評語】 052208

- (1) 因為種籽方舟是在低溫下儲存，用電場方式可刺激種子，而提高發芽率。
- (2) 在發芽分成 0~4 天前期黑暗的發芽率，而 5~15 天分析初生葉數。
- (3) 建議可用穀物取代葉菜類的發芽，此和糧食危機有關。
- (4) 不同電場強度有影響白莧種子發芽率以及出葉率，在大規模化應用上，用於種籽發芽分期，應考慮操作時間短效率高，以符合經濟效益。

作品海報

平行金屬板電場對白芻種子萌芽
及後續育苗之影響

摘要

本實驗目的為「探討靜電場對種子發芽率的影響，以及後續育苗的生長」，以2 V/cm、4 V/cm作為在電場下培養的實驗組，0 V/cm作為在一般環境下對照組，分別記錄第一天至第四天之累加發芽率，以及在移植至統一環境後，第十天至第十五天之累加初生葉率。實驗結果發現，電場愈大，成功發芽的機率越高，4 V/cm電場下的實驗組比一般環境的對照組提高了約四成的發芽率，且電場的施加有助於加快白莧菜後續之生長速率。

壹、研究動機

近幾年來，極端氣候使降水減少、高溫不斷，導致農業作物產量下降（GREENPEACE 綠色和平，2022）。目前有一項為了防備全球糧食危機的計畫——種子方舟——正進行著，簡易來說，就是在低溫下保存種子（洋味兒，2019），含水量低且在低溫的環境下，種子的壽命會延長，而發芽率也會下降（郭華仁，2015）。為了使這些珍貴種子發芽率提高且生長速率提升，且降低農業對環境造成的污染程度，有項相關的生物技術——高壓靜電場，這項技術能使生物的膜電位產生變化，可能會抑制或提高生物的新陳代謝、呼吸作用的功能，也有促進植物發芽率的可能。我們推測透過這項技術，能夠使原本低溫保存於「方舟」內的種子，提高其發芽率以及生長速率，且電場對於生物的相關研究在台灣目前並不普及，希望可以藉由此次探究與實驗有所收穫。

貳、研究目的

- 一、藉由比較在不同大小的電場下，白莧在第一天至第四天之發芽率，並探討在不同電場強度下之白莧發芽情形及其關聯性。
- 二、比較在不同大小的電場中培養五天後之白莧，在一般環境下之初生葉率，並探討不同電場強度之白莧及其關聯性，以及找出對作物最有利之電場大小。

參、研究設備及器材

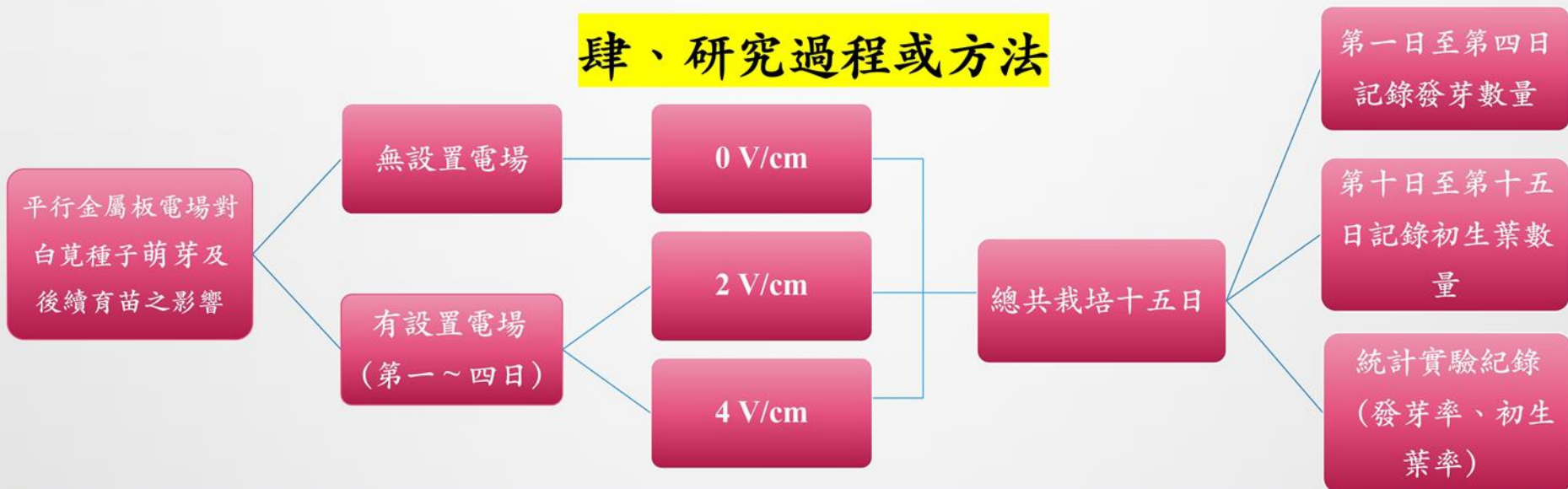
- 一、實驗器材：白莧53號（農友）、花寶二號、方格泡綿、泡綿蓋被、一格育苗箱（176孔）、漂白水（次氯酸鈉）、70%酒精、蒸餾水、紅銅片、鱷魚夾導線、紙板、塑膠盒、乾濕球濕度計、金剛砂氣泡石、水管、滴管、鏟子、培養皿、100 ml量筒。
- 二、實驗設備：直流電電源供應器、簡易自製植物生長箱（日照燈、鋁箔、鐵架）、打氣機、插頭定時器、插座延長線、Excel統計圖表。

- 三、實驗作物——莧菜（*Amaranthus inamoenus* Willd）生長特性及介紹

莧菜為莧科(*Amaranthaceae*)莧屬(*Amaranthus*)植物，性喜溫暖氣候，不耐寒，種子發芽適溫在攝氏20-35度，10度以下則不發芽。生長快速，對水分與養分的吸收力強，需要在日照充足的環境下生長。

此次實驗對象為白莧53號（農友）：全株為淡黃綠色，生長較慢，風味較淡，品種中品質較優，為台灣目前的主流品種（李碩朋，1911）。因方便觀察與紀錄，對養分的吸收力較強，發芽較快，也容易取得（李碩朋，1911），故選擇白莧作為觀察之研究材料。

肆、研究過程或方法



一、材料用途

(一) 自製植物生長箱

1. 鋁箔紙：反射植物生長燈之光源，及避免被外圍光源影響；防止植物燈照明產生之熱能耗散，產生保溫作用。
2. 日照燈：代替植物生長所需之日照光。

(二) 研究限制：第二階段時，我們將「八小時黑暗」的時間設置在白天（因白天溫度較高），反之，「十六小時光照」的時間設置在夜晚（因夜晚溫度較低），以減少溫度差異。

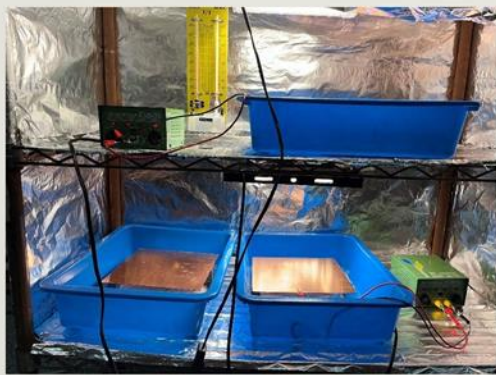
二、製造平行金屬板電場

(一) 自製平行金屬板電場：

1. 將兩大小為 $20*20*0.1\text{ cm}^3$ 之金屬紅銅片，利用厚紙板架高，並固定相距六公分。
2. 利用直流電電源供應器，將金屬片通以電流，上方通正電荷，下方通負電荷，產生方向向下之靜電場，如圖二。
3. 電壓24 V之電場大小為4 V/cm，電壓12 V為2 V/cm（利用電場公式： $E=V/d$ 計算得知）。

三、實驗組及對照組

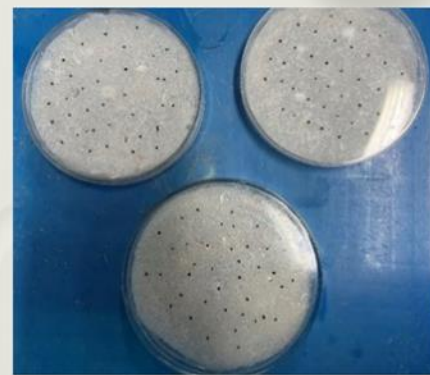
本實驗期望探討出不同電場大小對白莧發芽初期之影響，故設置電場2 V/cm、4 V/cm通以電流製造電場並作為實驗組，在無電場（0 V/cm）之環境作為對照組。為了提高實驗的準確性，一組實驗組或對照組，其中皆有三組相同條件之樣本（分為a, b, c三組），如圖三。



圖一、實驗環境架設



圖二、平行金屬板電場架設



圖三、實驗樣本

四、實驗步驟

(一) 消毒白莧種子，以避免農藥殘留或是在實驗過程時細菌滋生：

1. 選取實驗用的白莧種子，將其泡入自來水中清洗，並挑選有沉澱之種子
2. 使用濃度70%酒精消毒一分鐘
3. 將漂白水（次氯酸鈉水溶液）稀釋五倍，並加入一滴洗碗精（以代替TWEEN-20），並將實驗用種子泡入，並待其三十分鐘
4. 待三十分鐘後，將浸泡過後之白莧種子用蒸餾水將溶液清洗乾淨（沖洗三至五次）

(二) 實驗天數共十五天，將實驗階段分為兩階段，目的分別為瞭解電場對「發芽率」以及「初生葉率」的影響

*第一階段——發芽階段（第一天至第四天）：

1. 實驗組和對照組分別在條件相同的環境下，在每組培養皿中充滿水份之泡棉蓋被上，放上三十顆以上之白莧種子，蓋上培養皿之上蓋，以維持培養皿中的濕度。
2. 在第一階段期間，每天晚上八點固定計算各組的發芽情形，以「胚根突破種皮」視作發芽。
3. 研究限制：發芽培育之環境為無光照，為了避免徒長，將前期培育時長定為四天。

*第二階段——初生葉生長階段（第五天至第十五天）：

1. 將第一階段之實驗組及對照組成功發芽之植株移植至水耕培養箱，並在溫度、濕度條件相同下，在十六小時光照／八小時黑暗之環境下生長。
2. 用花寶二號稀釋一千倍，作為水耕培養之肥料。並將植物送進水耕培養箱，再將其放入自製的植物生長箱中進行栽培。
3. 因在第十天開始有初生葉增長的現象，因此從第十天開始記錄。

五、不同電場大小對白莧種子萌發之影響

(一) 將第一天至第四天的實驗組4 V/cm、2 V/cm，以及對照組0 V/cm之萌芽數量/總顆數輸入至Excel，分別計算出4 V/cm、2 V/cm、0 V/cm之平均值、標準差，以計算各組之發芽率。

(二) 將統計後之實驗數據製成圖表，並用標準差製作誤差線。

六、在不同電場下發芽培育過後之白莧植株在正常培養下之初生葉情形

(一) 將第十天至第十五天的實驗組4 V/cm、2 V/cm，以及對照組0 V/cm之初生葉植株數量/植株總數量輸入至 Excel，分別計算出4 V/cm、2 V/cm、0 V/cm之平均值、標準差，以計算各組之初生葉率。

(二) 將統計後之實驗數據製成折線圖，並用標準差製作誤差線。

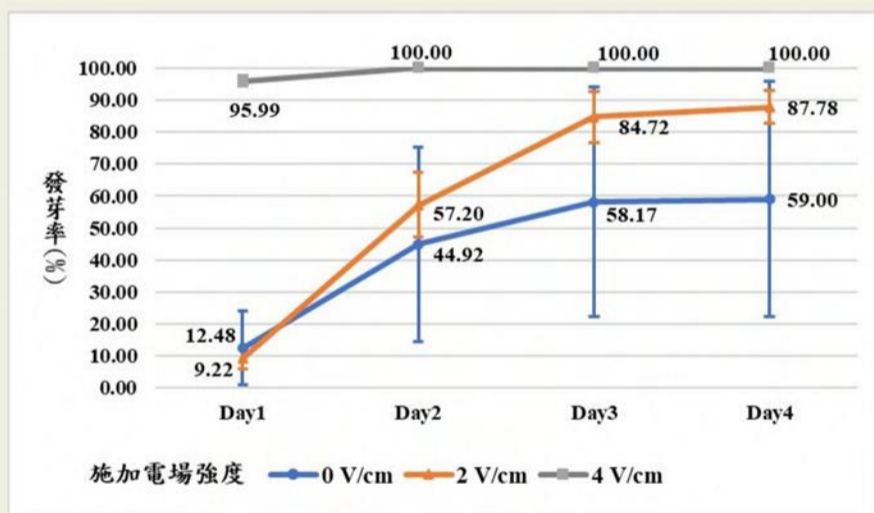
(三) 植株總數量：在實驗最後一天計量。以持續生長、無死亡（根系腐爛、枯萎等情形）之植株作為植株總數量之條件。

伍、研究結果與討論

一、不同電場下對白莧發芽之影響

從下方圖四中，三組的平均值可以發現，電場最大的4 V/cm實驗組下發芽之白莧種子，第一天生長就達到了95%的發芽率；2 V/cm之發芽率在第一天與0 V/cm對照組比較後低了些許，但在第二天的趨勢明顯提高。而4 V/cm的電場下之種子，第二天就達到了百分之百的發芽率；2 V/cm則是在第二天時，發芽率超過無電場的對照組，在第二、三天的發芽趨勢有了顯著的上升，在第四天的發芽率則達到了87.78%；0 V/cm對照組雖然在第二天時有稍微的上升幅度，但在第三、四天時，趨勢逐漸趨緩，第四天發芽率只達到59%。比較表中各組平均發芽率，可得知對發芽最有效果之電場大小排序為4 V/cm > 2 V/cm > 0 V/cm。

從圖中比較實驗組與對照組的標準差，對照組的標準差明顯大於實驗組，故對照組發芽的種子數量，a, b, c三組樣本都有極大的差異。

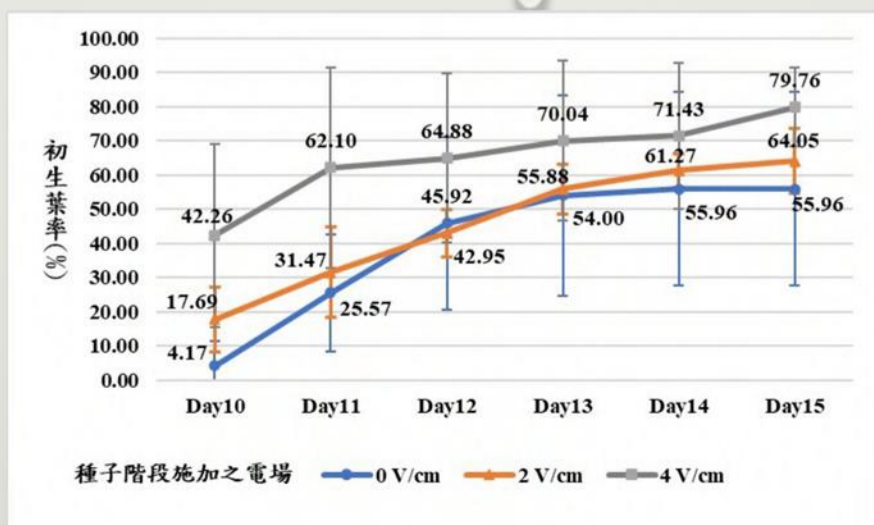


圖四、施加電場下白莧發芽率 (n=3)

二、在電場中發芽培育過後之白莧苗株在正常環境下的初生葉的情形

我們將在電場中培育過後之白莧苗株，放置至正常環境下培養。從圖五中，比較各組在五天中的初生葉率，無電場的初生葉率趨勢在最後三天逐漸趨緩；而施加過2 V/cm電場白莧的初生葉率上升的幅度較為一致；4 V/cm 電場下白莧的初生葉率比前面兩者皆高，從第十一天至第十四天的初生葉率趨勢雖然上升幅度較小，但在最後一天的上升幅度有些許提高。將各組的初生葉率平均值比較過後，可得知生長速度較佳之大小的排序為4 V/cm > 2 V/cm > 0 V/cm。

而各組標準差的比較，2 V/cm實驗組的標準差較其他兩組皆小，較無明顯差異；無施加電場之標準差較大，推測a, b, c三組之初生葉植株數量差異甚大；而4 V/cm實驗組的標準差，觀察其後，標準差有變小的趨勢，也就是說在初生葉在最後幾天，a, b, c三組之初生葉數量會逐漸一致。



圖五、在不同電場處理下白莧移植後的初生葉率 (n=3)

陸、應用初探——電場對於不同科別發芽率之影響

一、實驗目的：為加強「電場對於作物生長有利」的說服力及可信度，故進行「不同電場強度對其他四種作物的發芽率之影響」，實驗方法與本次科展相同。（考量時間因素，故只實行發芽率的實驗）

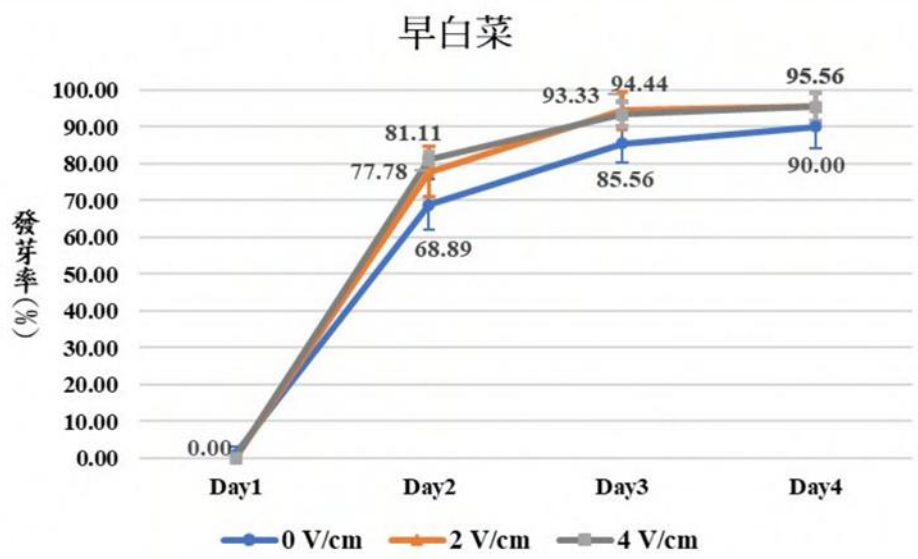
二、實驗溫度：維持在攝氏20度至22度（因有冷氣控制溫度，與本次科展實驗無控溫的環境溫度有些許落差）。

三、實驗結果

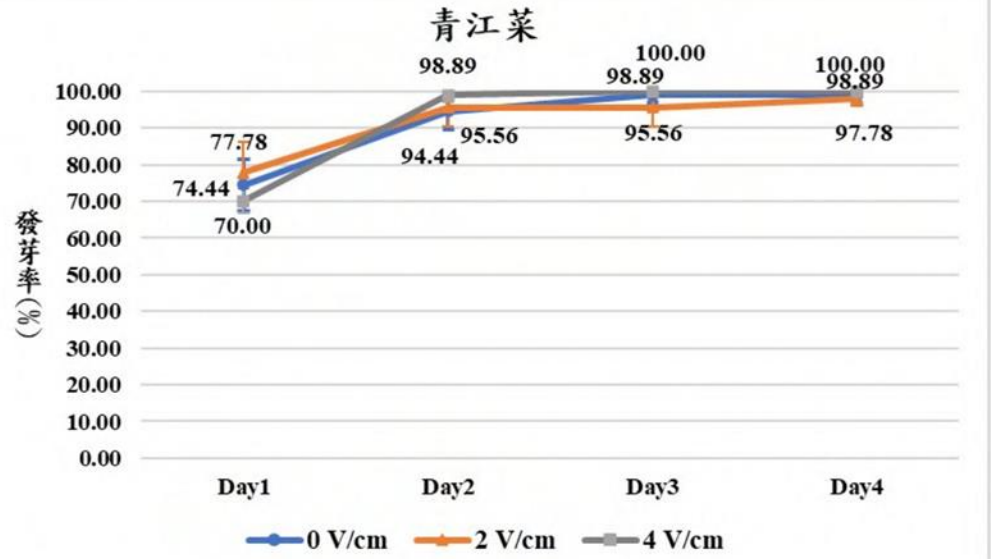
同樣屬於十字花科 (*Brassicaceae*) 的早白菜與青江菜，青江菜的實驗組及對照組之間的發芽率並無太大差異；而早白菜施加電場後的實驗組與對照組有較明顯的差異，但2 V/cm 和4 V/cm的間發芽率差別不大。

小黃瓜（葫蘆科，*Cucurbitaceae*）和豌豆（豆科，*Fabaceae*）雖然科別不同，但可以明顯看出，4 V/cm強度的電場對於這兩種作物都有助於發芽率的提升，相較之下，2 V/cm則較無明顯的幫助。

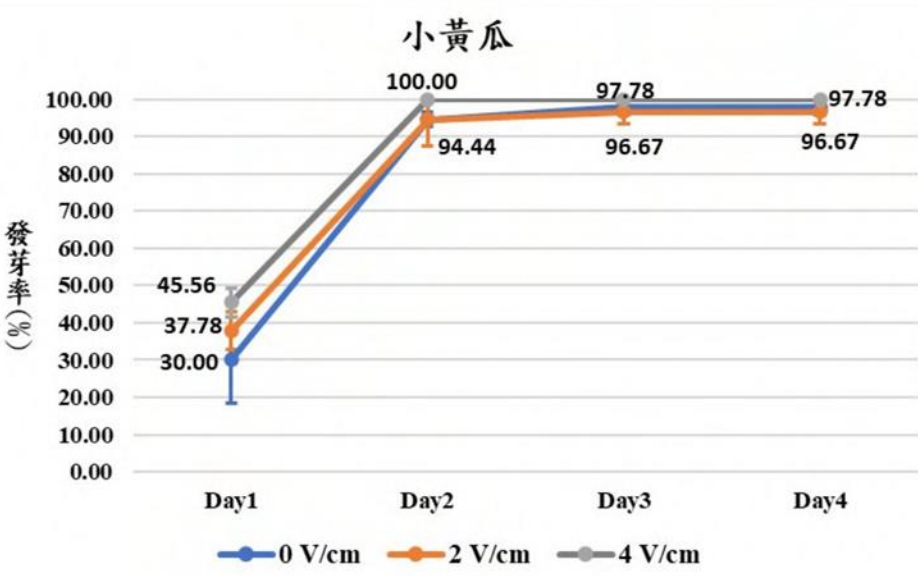
綜觀四種作物的實驗結果，此次電場對發芽率的差異並無白莧菜顯著，但電場強度依然會與發芽率呈現正相關，從小黃瓜及豌豆的發芽率來看更是明顯。



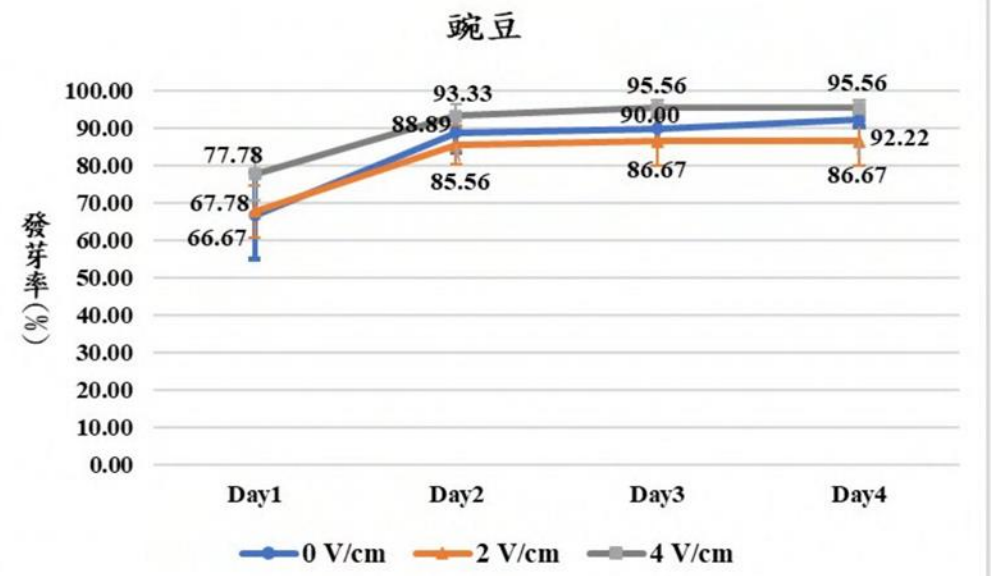
圖六、施加電場下早白菜發芽率(n=3)



圖七、施加電場下青江菜發芽率(n=3)



圖八、施加電場下小黃瓜發芽率(n=3)



圖九、施加電場下豌豆發芽率(n=3)

柒、結論與應用

一、結論

- （一）從不同施加電場下之發芽率的圖中可以發現，在電場環境下培養之種子，實驗組4 V/cm的發芽率最高，隨著施加電場減小，成功發芽的機率也下降。
- （二）在各組初生葉率比較過後，生長速度由高到低的排序為4 V/cm > 2 V/cm > 0 V/cm，可以推測出施加電場過後的作物，生長速度會增快，且生長速度會隨著靜電場的增大而提升。
- （三）第一階段發芽率的實驗中，標準差在無電場之對照組下值最大，在施加電場之兩組實驗組中，標準差並相差不大，推測作物生長的穩定性將會隨電場大小提升。而在有電場下培養過後之實驗組，回到正常環境中培養，4 V/cm之標準差比2 V/cm之標準差大，推測4 V/cm電場培養過後之植株因減去了電場的條件，內部之活性物質回到了一般環境之條件下，因兩者環境條件相差較大，故在剛回到一般環境時，整體的標準差較2 V/cm大，不過在第十五天已逐漸趨緩；而2 V/cm因為生長在中間大小之電場下，回環境條件之差異較小，故標準差相差不大。

二、未來應用

雖然一般電壓下與高壓靜電場的條件相差大，不過從此實驗結果可得知，電場的有無皆會影響作物。在未來的農業發展，以高壓靜電場代替目前主要使用的傳統肥料，可以降低對環境的傷害。目前這項技術尚未在台灣普及，相信對此技術進行投資與研發，以永續發展作為目標，可以發展出更多不同的可能性及優勢。

捌、參考資料及其他

1. 李碩朋。1911。利用簡易設施生產莧菜。花蓮區農業推廣簡訊，9(2)，13-14。
2. 吳旭紅。2005。高壓靜電場對甜瓜種子萌發及幼苗生長的生物學效應。北方園藝，3，67-68。
3. 吳旭紅。2005。高壓靜電場對甜瓜種子萌發及膜脂過氧化的影響。種子，24(1)，26-29。
4. 郭華仁。2015年12月14日。種子學。國立臺灣大學出版中心。
5. 洋味兒。2019年12月31日。世界末日之前，在冷酷異境搭建一座食物的諾亞方舟：北極圈內的世界種子寶庫。
取自<https://reurl.cc/ZWbYRW>。
6. 綠色和平。2022年8月18日。2022世界糧食危機：氣候變遷、國際衝突、糧食分配不均，衝擊全球糧食價格。
取自<https://reurl.cc/11mrkV>。
7. Kumar, A., & Pandey, O. P. (2021). Causal theory on acceleration of seed germination in the vicinity of high voltage direct current transmission line. *Journal of Theoretical Biology*, 531, 110899.
8. Okumura, T., Muramoto, Y., & Shimizu, N. (2010). Acceleration of plant growth by DC electric field. In *10th IEEE International Conference on Solid Dielectrics* (pp. 1-4). IEEE.
9. Vashisth, A., & Nagarajan, S. (2010). Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. *Journal of plant physiology*, 167(2), 149-156.
10. Wang D, Hayashi Y, Enoki T, Nakahara K, Arita T, Higashi Y, Kuno Y, Terazawa T, Namihira T. (2022). Influence of pulsed electric fields on photosynthesis in light/dark-acclimated lettuce. *Agronomy*, 12(1), 173.