

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

030112

盆栽也要接地氣？家用交流電下相關因子對植物電位之影響暨人體藉由觸摸植物來接地之探討

學校名稱：桃園市立南崁國民中學

作者： 國一 龔怡儒 國一 陳世恩 國一 林晉弘	指導老師： 簡正忠
---	------------------

關鍵詞：接地、交流電、植物電位

摘要

報導指出植物生長與病害發生受大氣電場調控、花卉釋放電場信號與蜜蜂溝通、利用高壓靜電場改變電位可延長水果保鮮期限、將花束接地（grounding）可延緩枯萎，顯示植物生理現象與電場有關，並可能受到家用交流電的低頻電場干擾。

研究發現在家用交流電下，植物電位（以地表為零電位）與植株長度具線性正相關，植株疑似具天線效應；植物電位與澆水量具線性正相關，與電解質濃度似無關；距離較遠時，植物電位與纏繞電線的距離平方成反比；地面或盆器影響植物電位，任兩材質之「電位增加率」具正比關係，可用以量化各種地面的接地效果。

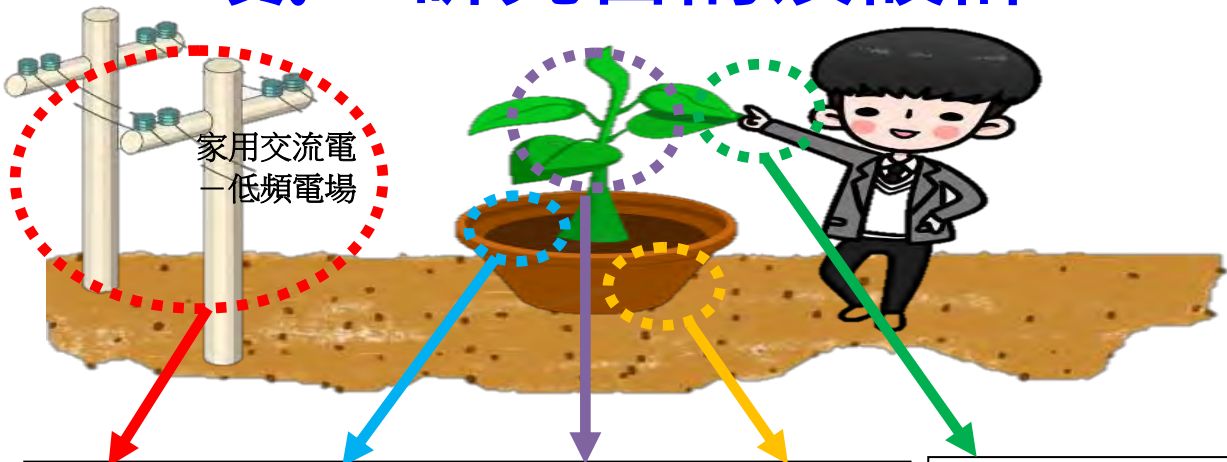
此外，研究結果也提供盆栽接地以及人體如何藉由植物來接地的建議，以減少生物電功能受到干擾。

壹、研究動機

人體接地後可與大地等電位，避免受到低頻電場等干擾，已有愈來愈多的研究顯示人體接地後對健康的療效。那麼人除了赤腳以外，觸摸植物是否也有接地效果呢？另外，室內盆栽、採摘後的花束、擺放的水果……等非種植於大地或已遠離大地的植物，是否也會受到交流電場干擾？如果讓其接地，是否能有較佳的生長或較長的保鮮呢？

這些與我們在七上生物〈5-4 植物對環境的感應〉所學內容有關，也與未來九下理化〈1-3 家庭用電安全〉的接地概念有關。在老師指導下，我們決定先從物理方面下手，探討家用交流電下植物電位受到什麼因素影響？以及人體觸摸植物是否能有效接地？期待建立這些研究基礎後，再進行接地是否影響植物生長等生物方面的研究。

貳、研究目的及設計



用電環境 水與電解質 植株本身 盆器與地面

對植物電位的影響為何？

觸摸植物 (藉由植物來接地)
對人體電位的影響為何？

同一盆栽在不同環境下，其植物電位的變化情形為何？

已有文獻針對相關變因對人體電位做過探討。

驗證並修正

電線與植物的距離對植物電位的影響為何？

澆水質量對土耕植物電位的影響為何？

除去土壤

澆水質量對水耕植物電位的影響為何？

除去植株

水的質量對水的電位的影響為何？

加入電解質

食鹽水濃度對水溶液電位的影響為何？

盆器與地面對植物電位的影響為何？

數據分析

觸摸盆栽或花圃對人體電位的影響為何？

延伸實驗

觸摸盆栽時，盆栽的相對位置對人體電位的影響為何？

比較

合攏植株對植物電位的影響為何？

截短植株對植物電位的影響為何？

觸摸植物前後，人體電位的變化情形？

數據分析

觸摸植物的莖或葉對人體電位的影響為何？

延伸實驗

觸摸樹幹的方式對人體電位的影響為何？

再延伸實驗

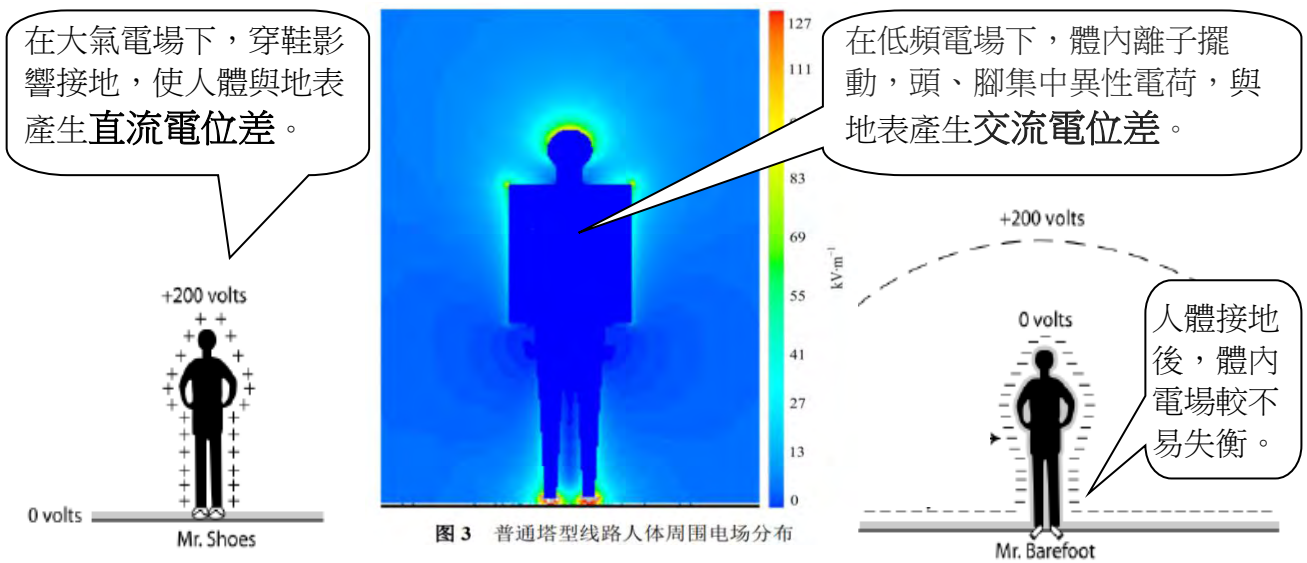
觸摸樹幹的面積對人體電位的影響為何？

參、研究設備及器材

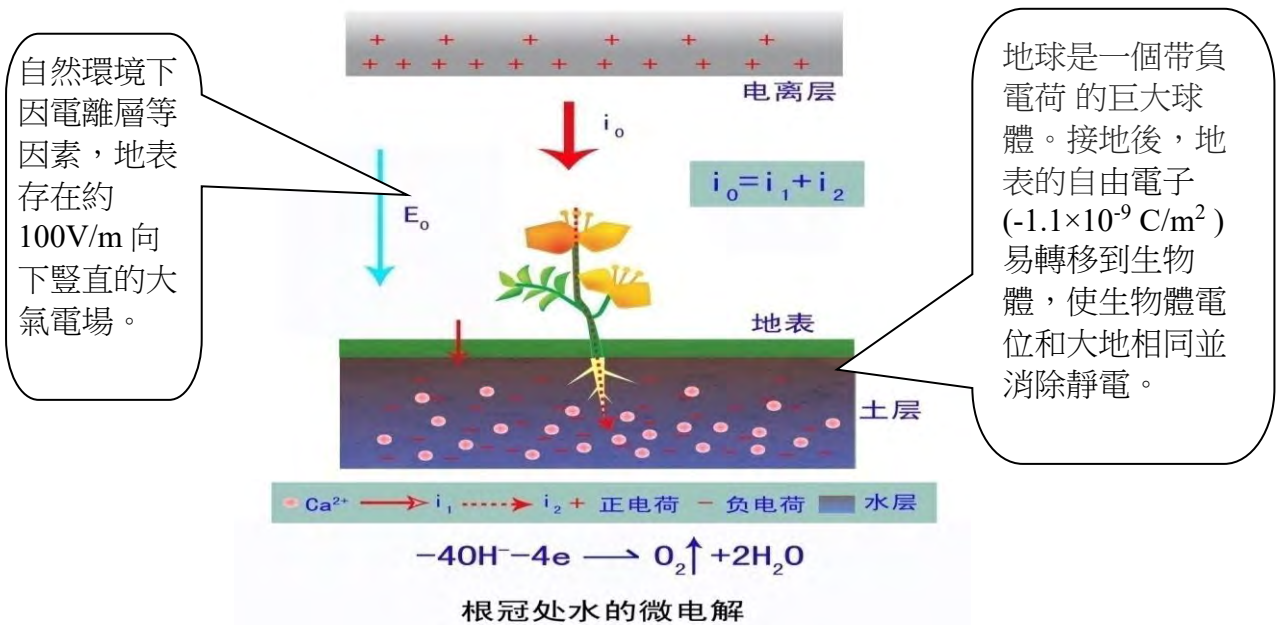
多功能電錶（KILTER 325）、接地銅棒、接地線、輪座式電線、電子天平、PP 四腳圓凳、盆器（聚丙烯底盤、陶盆、竹編盆、不鏽鋼盆、保麗龍盆）、盆栽（虎尾蘭、蘆薈、金錢樹、黃金葛、開運竹……）、戶外植物（大王椰子樹、榕樹、槭樹、朱槿……）。

肆、文獻探討

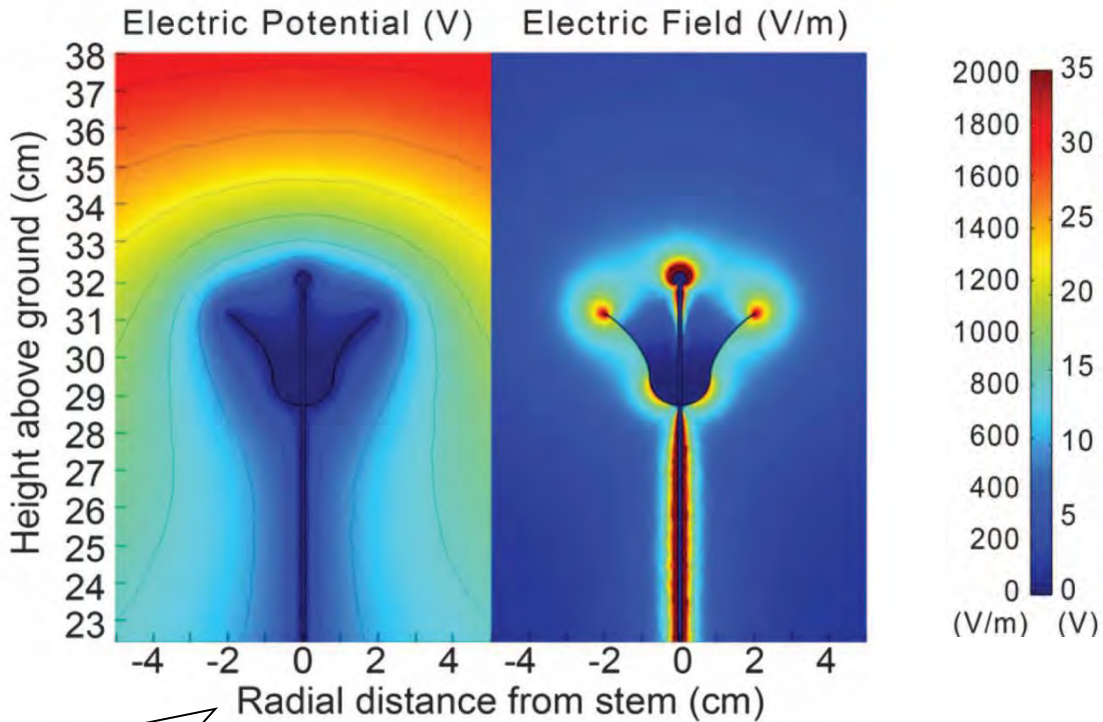
電力生活的「人為電磁汙染」使環境常達到德國健康住宅電磁波規範的極強干擾等級，其一影響是在人體內感應出微弱的電場和電流，使人體與地表產生交流電位差。人體接地後，地表的自由電子易在人體轉移，使人體電位和大地相同，產生「接地氣」的療效。



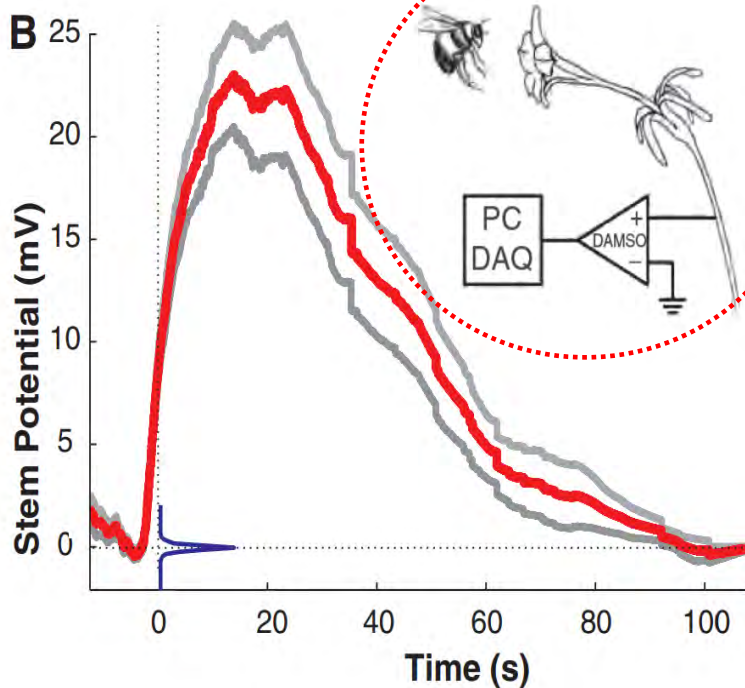
人體如果需要接地氣，植物呢？植物接地有其生理效應。如下圖所示，植物接地後，其生長方能受到大氣電場的正常調控。



另外，2013 年 Daniel Robert 等人在《science》期刊發表，花朵會發出微弱的電場來吸引蜜蜂，蜜蜂也會透過電場來判斷花朵還有沒有花蜜。當蜜蜂在飛行，翅膀不斷跟空氣摩擦，累積正電荷，地面的花朵因為接地帶有負電荷。每當蜜蜂停在花上，正負電荷互相抵消，花的電位就會改變，電位的變動會持續約 100 秒。當另一隻蜜蜂飛來，就會感受到花的電場變化，判斷花蜜可能不多而直接飛走。



在大氣電場下，花卉電位與電場的情形。



因蜜蜂降落造成花卉電位產生變化。

在牽牛花的莖中放置電極，測量電位變化。

伍、研究方法與過程

前置工作



1. 研究文獻、討論題目、設計研究方法。
2. 在校園花園中釘入接地銅棒。
3. 製作接地銅棒至三用電錶的連接電線，以及延長線的插頭等。
4. 本研究以輪座式電線來產生交流電場影響待測物，其電線保持纏繞狀態未拉出，也未接電器。

一、用電環境對植物電位的影響

(一)同一盆栽在不同環境下，其植物電位的變化情形



1. 取虎尾蘭盆栽放在 PP 四腳圓凳上，移動到不同環境中。
2. 三用電錶放在另一 PP 四腳圓凳上，與待測物保持適當距離。電錶一端接在待測物上，另一端以延長線接在接地銅棒上，測量待測物與地表的交流電位差。

(二)電線與植物的距離對植物電位的影響



1. 以 5 種盆栽放在 PP 四腳圓凳上，及大王椰子樹為待測物。
2. 將輪座式電線放在 PP 四腳圓凳上，逐漸靠近待測物，測量兩者距離及待測物電位，分析其關係。

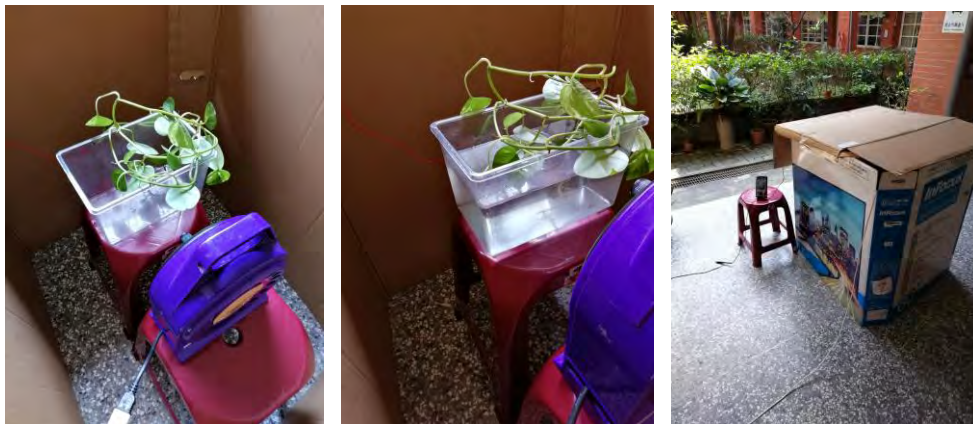
二、水與電解質對植物電位的影響

(一)澆水質量對土耕植物電位的影響



1. 取土耕黃金葛吊盆放在 PP 底盆上，再放在 PP 四腳圓凳上。
2. 將輪座式電線放在 PP 四腳圓凳上，靠近待測物，位置固定。
3. 逐次倒入水，測量水的質量及待測物電位，分析其關係。

(二)澆水質量對水耕植物電位的影響（無土壤）



1. 取水耕黃金葛放在水盆內，再放在 PP 四腳圓凳上。
2. 將輪座式電線放在 PP 四腳圓凳上，靠近待測物，位置固定。
3. 逐次倒入水，測量水的質量及待測物電位，分析其關係。

(三)水的質量對水的電位的影響（無土壤、無植株）

(四)食鹽水濃度對水溶液電位的影響



1. 1000mL 大燒杯放在 PP 四腳圓凳上，內有碳棒為電極。
2. 將輪座式電線放在 PP 四腳圓凳上，靠近待測物，位置固定。
3. 逐次倒入水，測量水的質量及其電位，分析兩者關係。
4. 水量 1000g 時，再逐次溶入氯化鈉，測量食鹽水濃度及其電位，分析兩者關係。

三、植株本身對植物電位的影響

(一)合攏植株對植物電位的影響



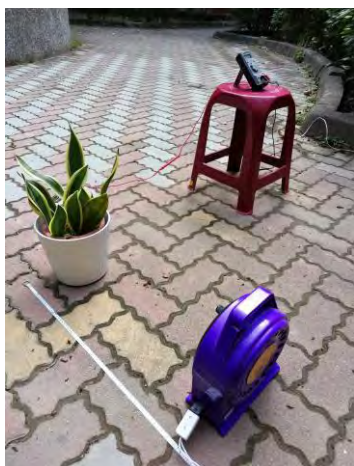
1. 1000mL 大燒杯內倒入 100g 水，放在 PP 四腳圓凳上。
2. 將輪座式電線放在 PP 四腳圓凳上，靠近待測物，位置固定。
3. 將開運竹逐支插入大燒杯內，測量其電位，分析合攏植株對植物電位的影響。

(二)截短植株對植物電位的影響



1. 取單支開運竹、金錢樹、虎尾蘭、蘆薈植株，插入 PP 四腳圓凳的孔洞中（以 PS 固定）。
2. 將輪座式電線放在 PP 四腳圓凳上，靠近待測物，位置固定。
3. 逐次截短植株，測量其質量、長度及電位，分析截短植株對植物電位的影響。

四、盆器與地面對植物電位的影響



1. 取虎尾蘭盆栽放在磨石子地面。
2. 將輪座式電線靠近待測物，位置固定。
3. 將盆栽依次放入不同盆器內（聚丙烯底盤、陶盆、竹編盆、不鏽鋼盆、保麗龍盆），測量其電位。
4. 將虎尾蘭盆栽改放在吸水磚地面上，其餘步驟同上。
5. 分析不同盆器與不同地面對植物電位的影響。

五、藉由植物來接地對人體電位的影響

(一)人體觸摸植物前後，人體電位的變化情形

(二)觸摸盆栽或花園對人體電位的影響

(三)觸摸盆栽時，盆栽相對位置對人體電位的影響

(四)觸摸植物的莖或葉對人體電位的影響



(五)觸摸樹幹的方式對人體電位的影響



(六)觸摸樹幹的面積對人體電位的影響

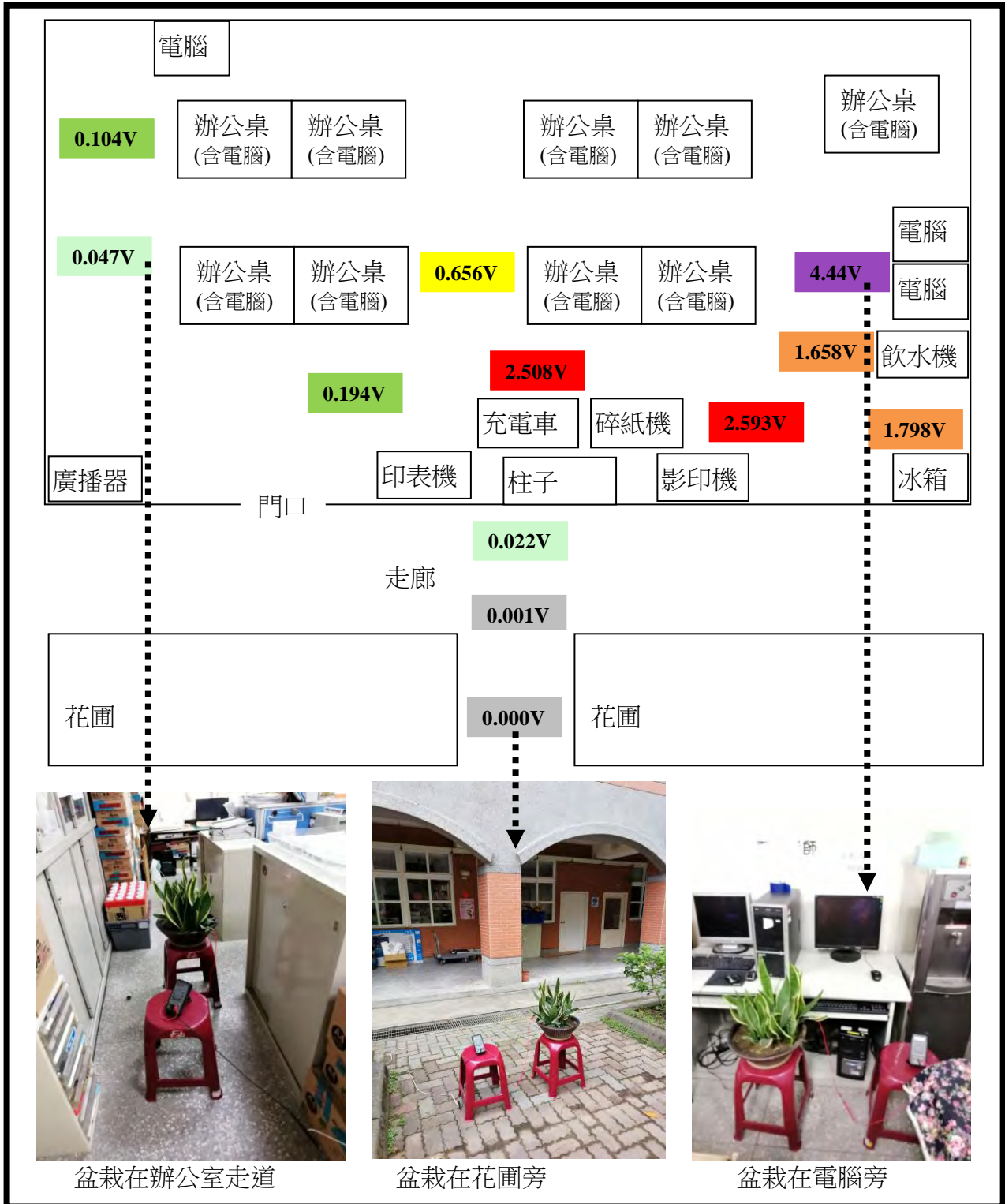


1. 本系列實驗均是將電錶放在 PP 四腳圓凳上，位置固定。一端連接待測人手指，一端連接接地銅棒，測量人體觸摸植物前、後的電位。
2. (三)是以待測人位於電線與盆栽之間，測量觸摸前、後，人體與盆栽的電位變化。然後，更換盆栽與待測人位置，再實驗。
3. (一)(二)(四)(五)(六)實驗方式均類似，如下步驟。
4. 待測人兩腳之間放置輪座式電線。
5. 待測人觸摸不同植物（盆栽或花園）的不同部分（莖、葉、氣根.....等等）；或待測人以不同方式觸摸樹幹；或待測人以導線連接不同面積的鋁箔，鋁箔貼在樹幹上。
6. 測量人體觸摸植物前、後的電位變化。

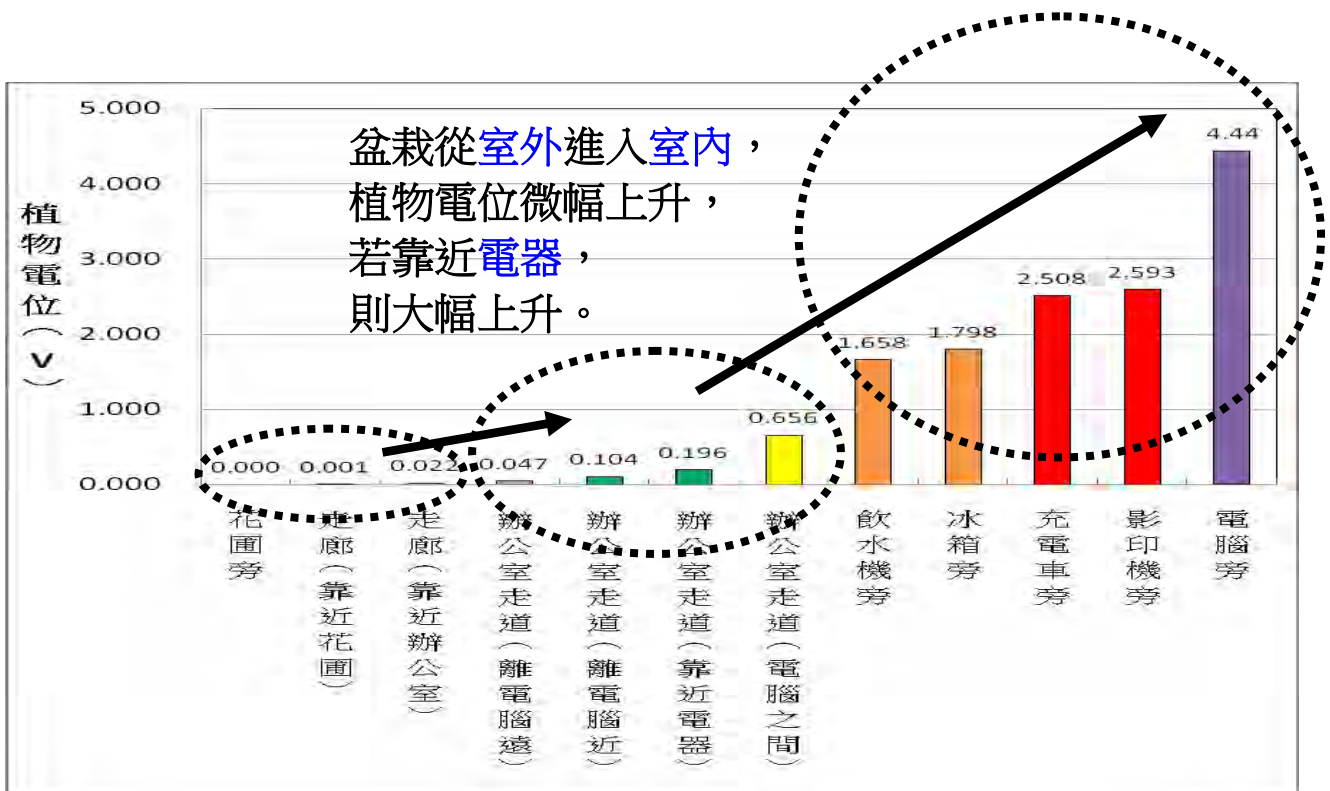
陸、研究結果與分析

一、用電環境對植物電位的影響

(一)同一盆栽在不同環境下，其植物電位的變化情形

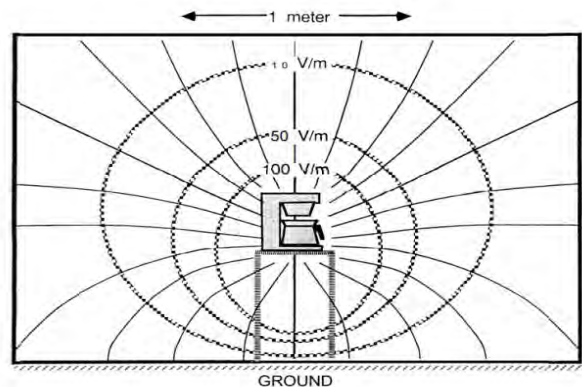


*環境示意圖、實驗照片（圖中數據為盆栽在該處所測得的電位）

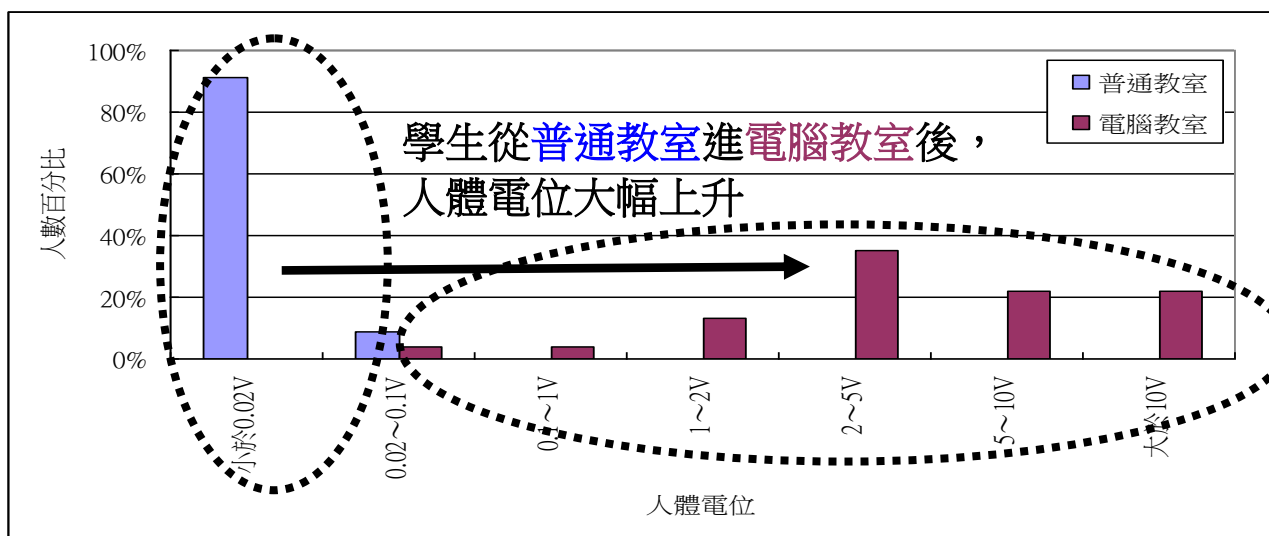


結果分析：

- 1、盆栽在室外時，植物電位幾乎為零，代表與地表電位相同。從室外進入室內，植物電位微幅上升，若靠近電器，則大幅上升，顯示盆栽受到家用交流電的影響。
- 2、此結果應與電器產生的交流電場有關，如右側文獻圖。
- 3、從文獻得知老師從戶外進入辦公室後，人體電位大幅上升；學生從普通教室到電腦教室後，人體電位也大幅上升，如圖所示，與本結果相似，互相呼應。

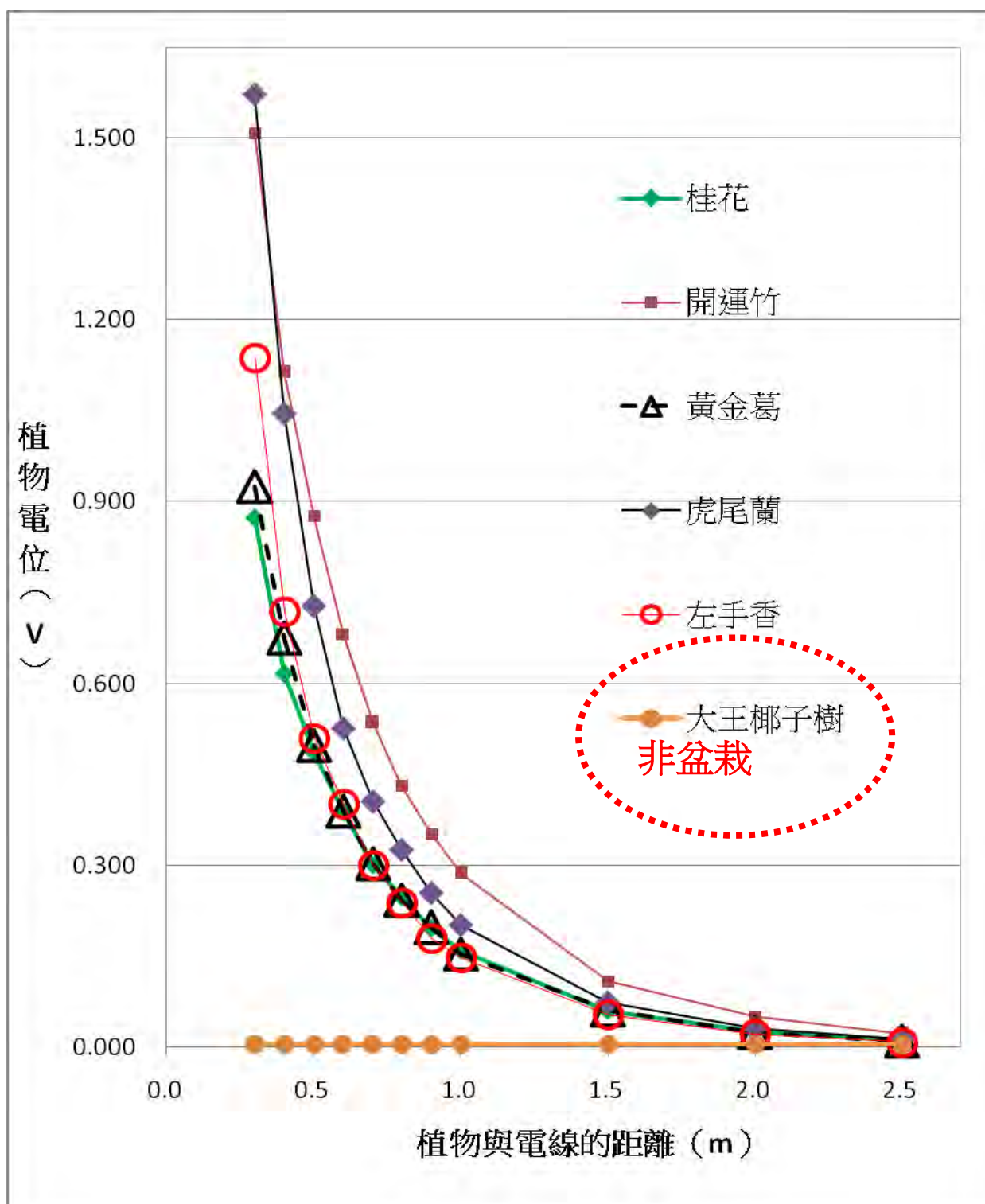


交流電壓 115V 咖啡機形成的電場



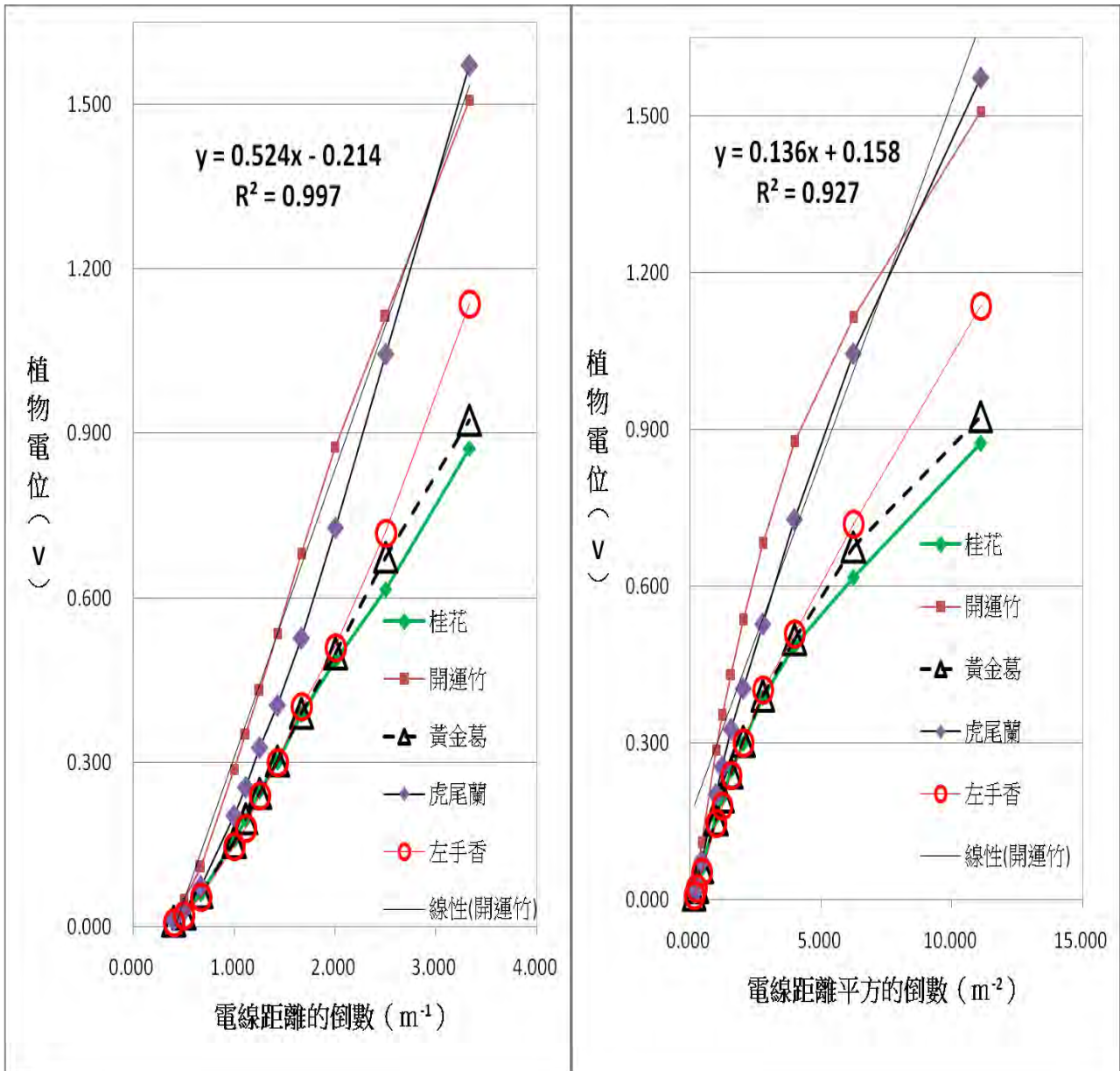
- 4、盆栽在不同環境下，其電位為何有此變化呢？從文獻得知【影響人體電位的主因是低頻電場，而非電流大小】，【人體電位與電線的纏繞圈數正相關】、【人體電位與電線距離平方成反比】、【人體電位與接地物的厚度正相關】等。但人體與植物不同，而且盆栽還含有盆土等，上述結論是否可直接適用於植物呢？下列（二）以電位與電線距離成反比，此一有明顯數學關係式的實驗來進行驗證。

(二)電線與植物的距離對植物電位的影響



結果分析：

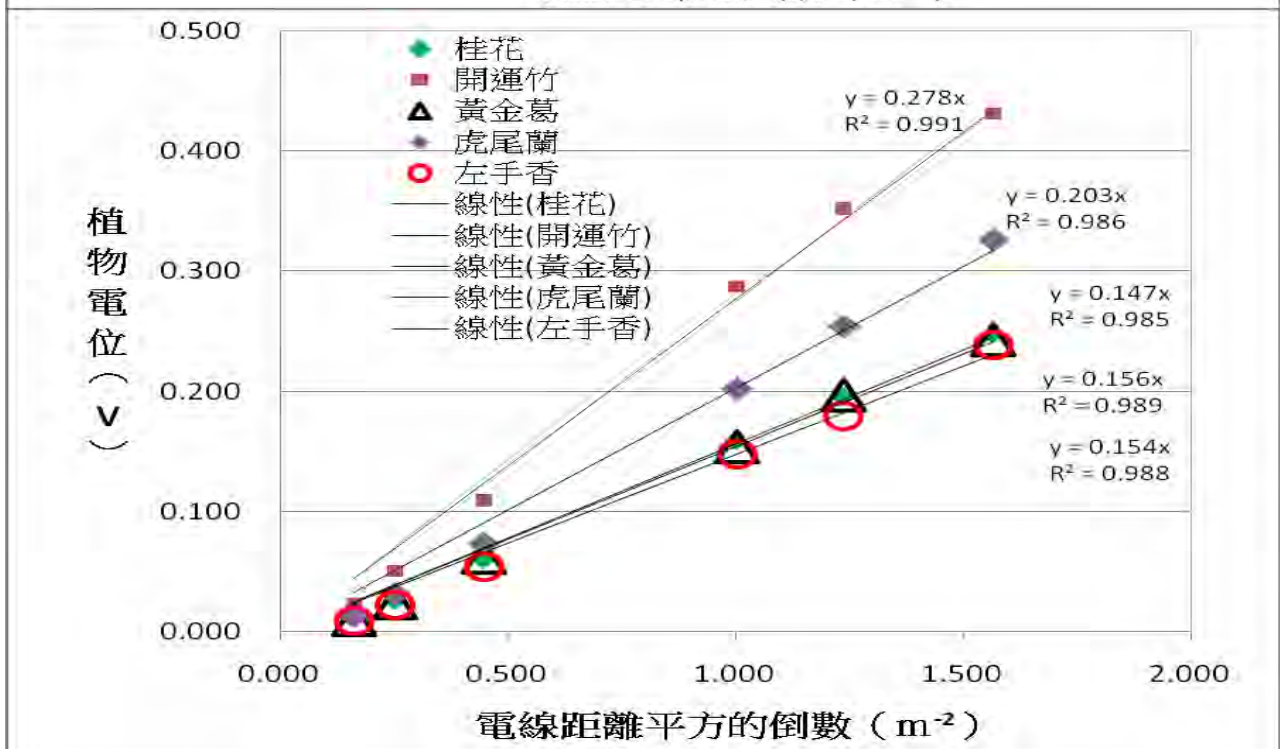
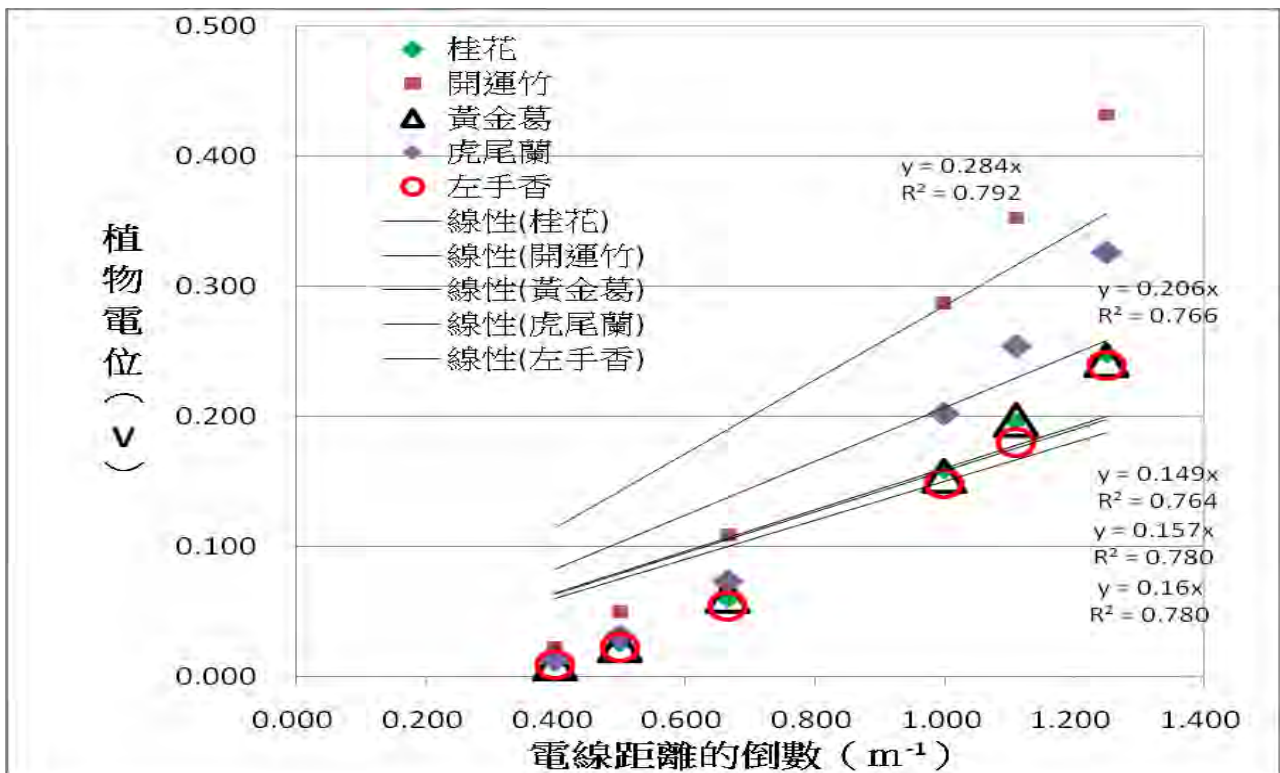
- 1、除了大王椰子樹是生長於大地上，其他桂花、開運竹等皆為盆栽（且放在塑膠凳上測量），發現大王椰子樹的電位完全不受電線距離的影響，可見植物接地後，可能植物接地後，對低頻電場有屏蔽的效果。
- 2、盆栽的植物電位會受電線距離影響，並隨者電線距離縮短而增加。兩者有何關係呢？作圖如下，並以開運竹做趨勢線的線性分析，發現植物電位似乎與電線距離成反比！而不是與距離平方成反比！這與文獻不同，難道人體電位與電線距離的關係，和植物電位與電線距離的關係真有不同？



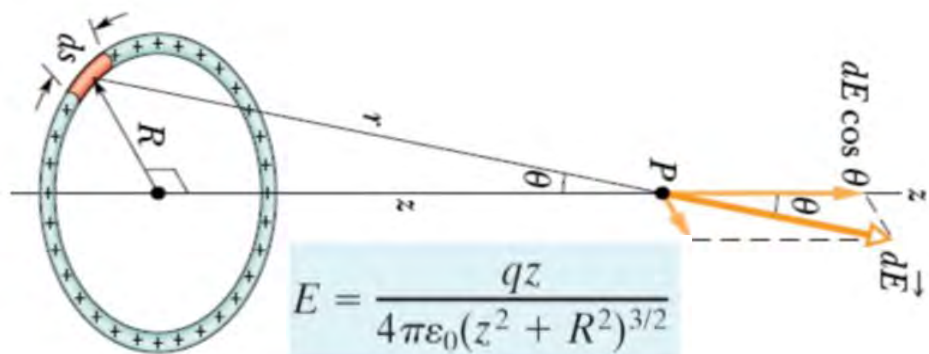
- 3、思考後，發現上述分析有兩問題。第一、電線距離很遠時，電位必為零，所以線性分析的截距須為零才行。第二、因電線（實驗時使用輪座式延長線）和盆栽並非質點，以及電錶探針不是夾在植株中心位置，所以電線距離很近時，測量植物與電線距離的誤差會明顯增大。
- 4、因此，修正截距，並暫將距離小於 0.8m 的數據視為誤差而捨去，重新分析如下列圖表。可得距離較遠時，植物電位與纏繞電線距離平方成反比（相關係數為 0.994），而不是與距離成反比（相關係數為 0.881）。

電位與 【距離倒數】 線性分析	植物種類	桂花	開運竹	黃金葛	虎尾蘭	左手香	平均
	相關係數(r)	0.890	0.875	0.874	0.883	0.883	0.883
決定係數(R ²)		0.792	0.766	0.764	0.780	0.780	0.776

電位與 【距離 ² 倒數】 線性分析	植物種類	桂花	開運竹	黃金葛	虎尾蘭	左手香	平均
	相關係數(r)	0.994	0.995	0.994	0.993	0.992	0.992
決定係數(R ²)		0.989	0.991	0.988	0.986	0.985	0.988

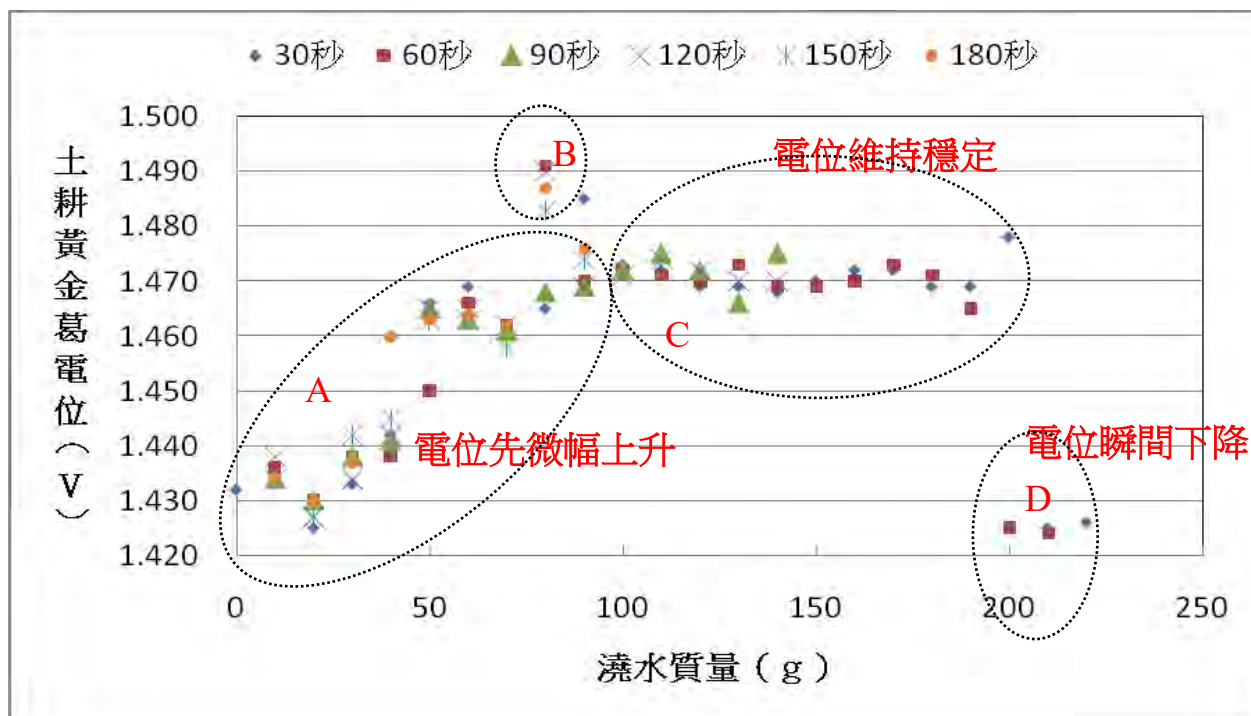


5、本研究使用輪座式電線，而由文獻得知環狀電荷形成的電場在距離較遠時，才與距離平方 (z^2) 成反比，可用來解釋本研究結果。



二、水與電解質對植物電位的影響

(一)澆水質量對土耕植物電位的影響



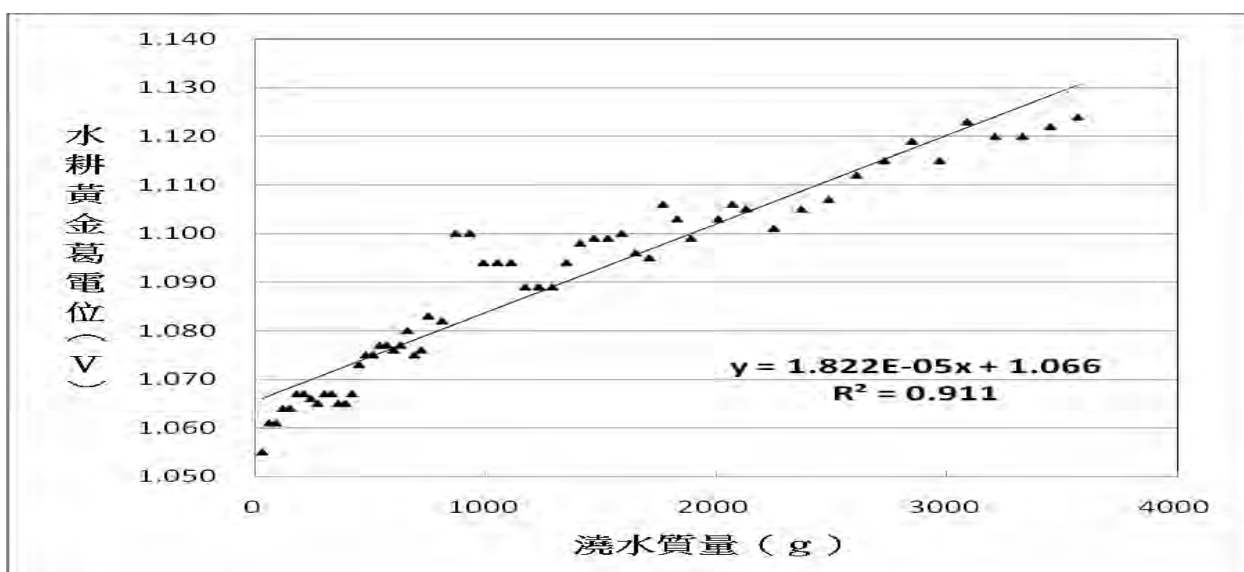
結果分析：

- 1、緩慢澆水至水量約 100 克之間，植物電位從 1.432V 微幅上升到 1.472V，持續澆水後，電位大致穩定，直到水量約 200 克後，電位瞬間下降至 1.425V。
- 2、花了近一小時、記錄近百個數據得到這個結果，感覺怪異難以解釋。將其分為四區，進行分析。
- 3、B 區的跳躍以及其他區數據波動大，推測是乾燥的盆土及植株的吸水增添變數，以及風的影響！因此我們持續改良場地，最後爭取到空教室實驗。
- 4、D 區電位瞬間下降時，令人感到異常，因此觀察盆栽，發現水已滲出。所以電位下降原因極有可能就是水滲出改變塑膠盆與底盤間的電阻。
- 5、A 區表示水的質量會影響電位，而且是正相關，但影響幅度小，電位的增幅僅約 $(1.472 - 1.432) / 1.432 = 2.79\%$ ，再除以 100 克水，可得每克水對植物電位的增加率為 0.0279%。
- 6、C 區的電位維持穩定，與 A 區微升不同，究竟水量對植物電位的影響為何？為了釐清原因，排除土壤因素，改成水耕植物，進行下列 (二) 探討。



B 區：改良實驗場地避免風的影響，後來爭取到空教室實驗。

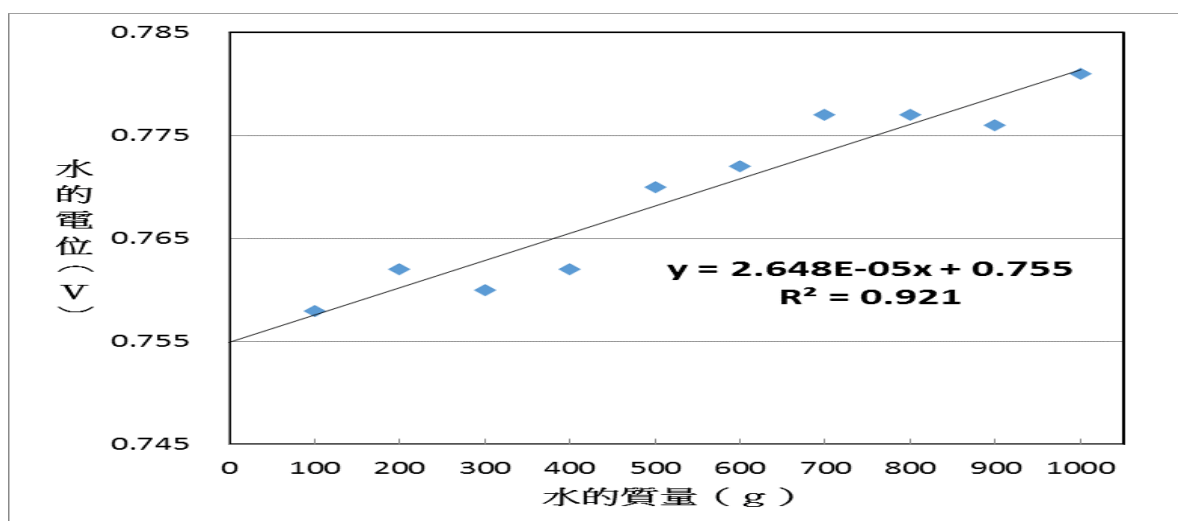
(二)澆水質量對水耕植物電位的影響 (無土壤)



結果分析：

- 1、相較於土耕植物有土壤吸水率、盆底滲水的因素，水耕植物顯得單純許多。發現澆水質量愈多，植物電位愈大，兩者有線性正相關（相關係數 0.954）。
- 2、兩者關係式為 $y = 1.822E-05x + 1.066$ ，斜率 0.0000182 代表每克水可增加的電位，再除以截距 1.066，可得每克水對植物電位的增加率為 0.0017%。
- 3、水量對植物電位的影響，是否與植株存在與否無關？純粹只是水受到電場的影響呢？因此，進行下列（三）探討。

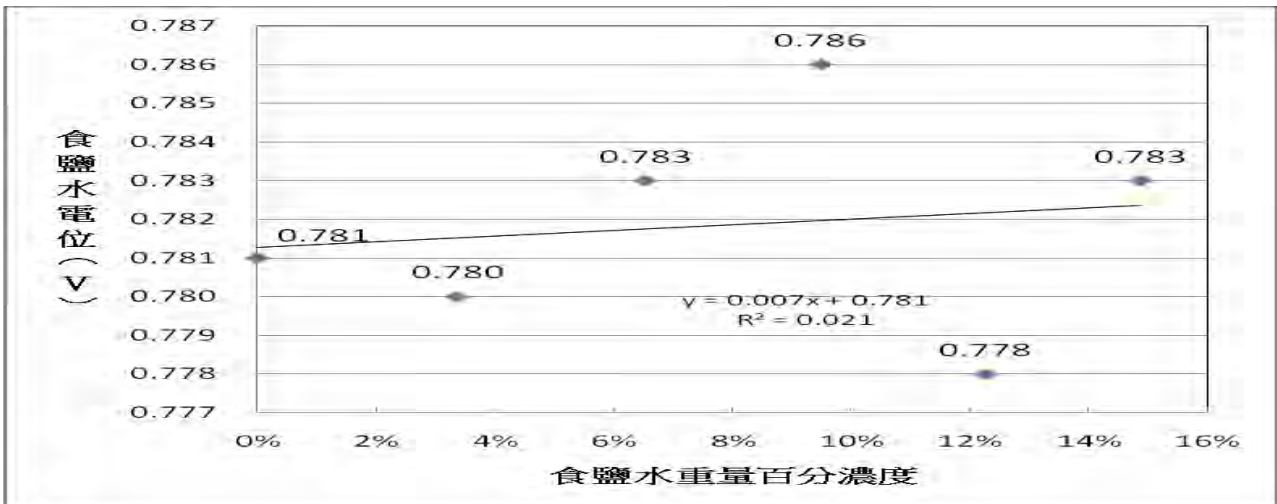
(三)水的質量對水的電位的影響 (無土壤、無植株)



結果分析：

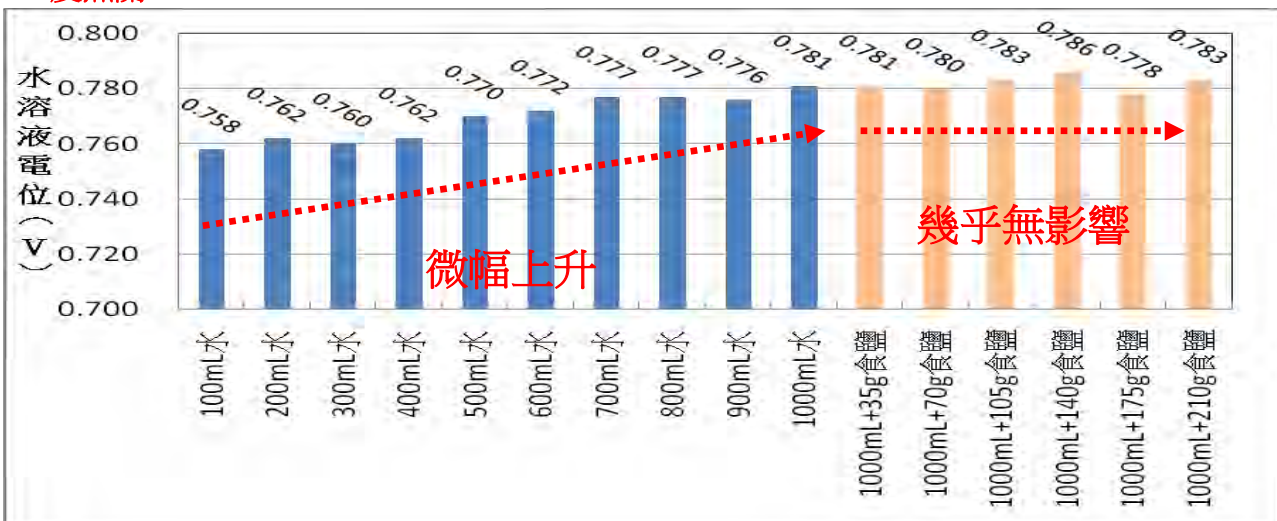
- 1、進一步排除植株的因素後，直接觀察水質量對水電位的影響，發現水質量愈多，水電位愈大，兩者有線性正相關（相關係數 0.960）。
- 2、兩者關係式為 $y = 2.648E-05x + 0.755$ ，將斜率除以截距，可得每克水對水電位的增加率為 0.0035%，比水耕植物加水（0.0017%）高，比土耕植物加水（0.0279%）低。此差異表示除了水的質量外，仍有植株、土壤以及其他未考量到的因素在影響電位。是什麼因素呢？有待後續研究。
- 3、研究至此發現水對電位雖有影響，但影響程度很低，是否與缺少電解質有關呢？進行下列（四）探討。

(四)食鹽水濃度對水溶液電位的影響

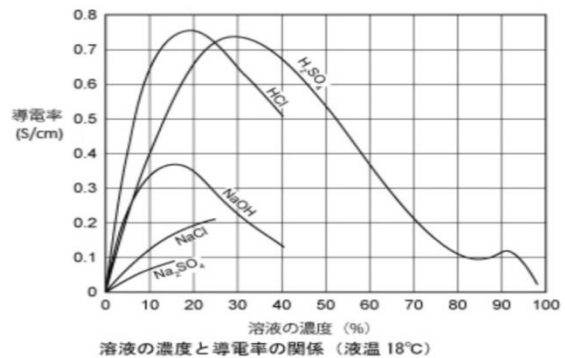
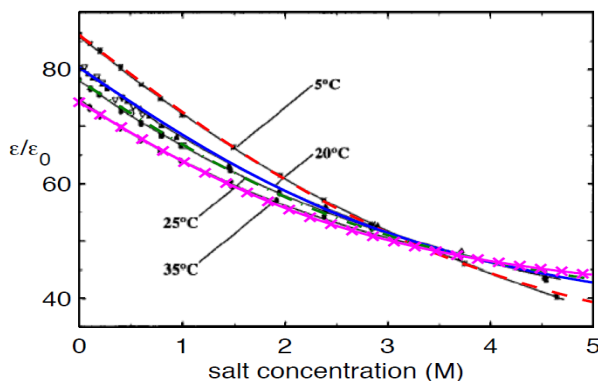


結果分析：

- 1、植物體內充滿電解質，且電解質水溶液中的離子能增加導電性，但結果卻顯示食鹽水的濃度與電位無關（相關係數 0.021，近乎 0）。
- 2、將（三）、（四）的結果綜合呈現如下圖，水溶液電位與水的質量有關（影響程度很低，每克水對電位的增加率為 0.0035%，加水 1 公升，電位增加約 3.5%），與電解質濃度無關。



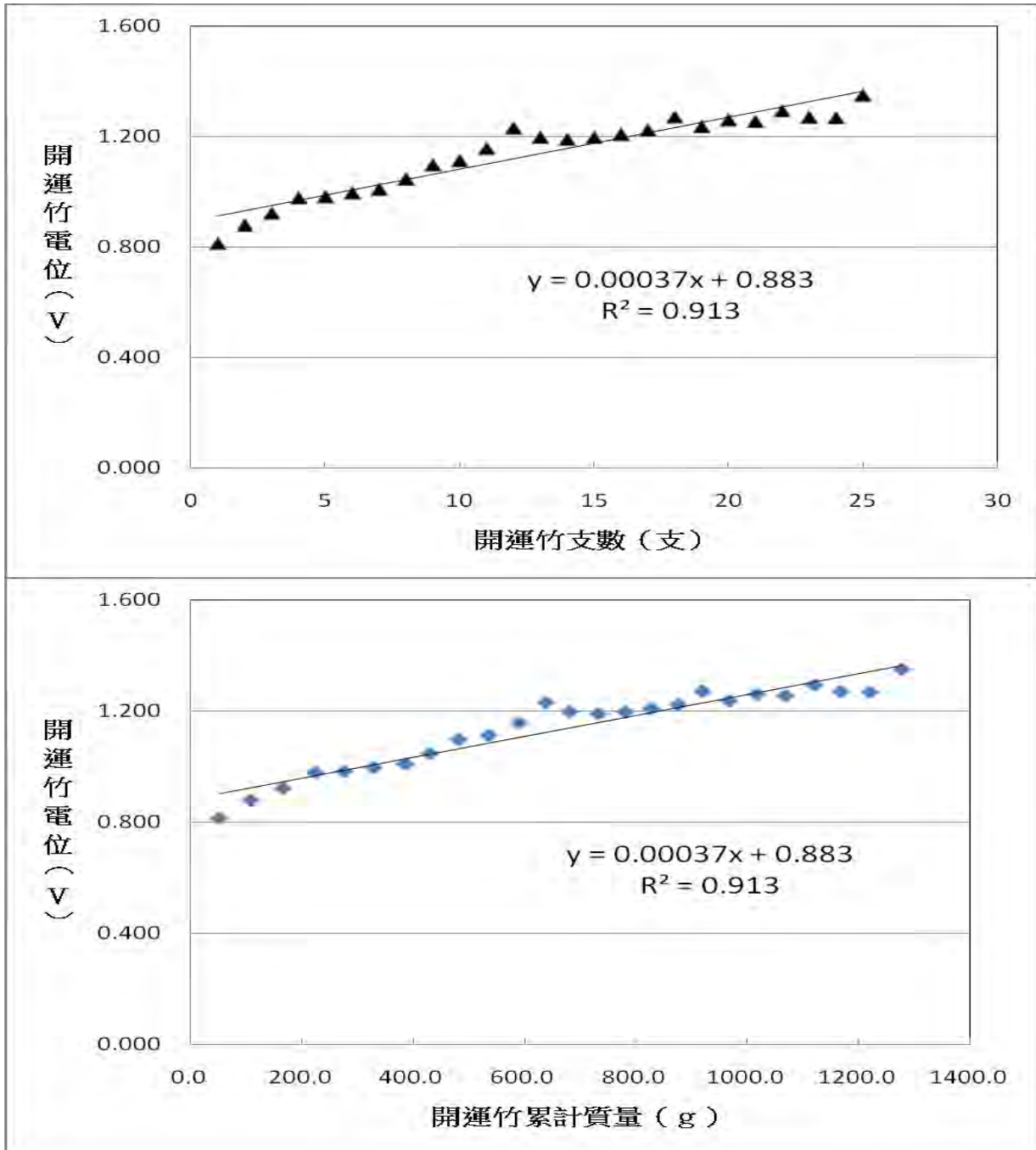
- 3、電解質濃度的實驗結果有些出乎意料，因食鹽水的介電常數($\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0$)及導電率都與濃度有關（文獻如下圖），因此可能需要修改實驗設計，再做確認，有待後續研究。



- 4、暫依實驗結果，假定水與電解質濃度對植物電位的影響有限，下列進一步探討植株本身對植物電位有何影響？

三、植株本身對植物電位的影響

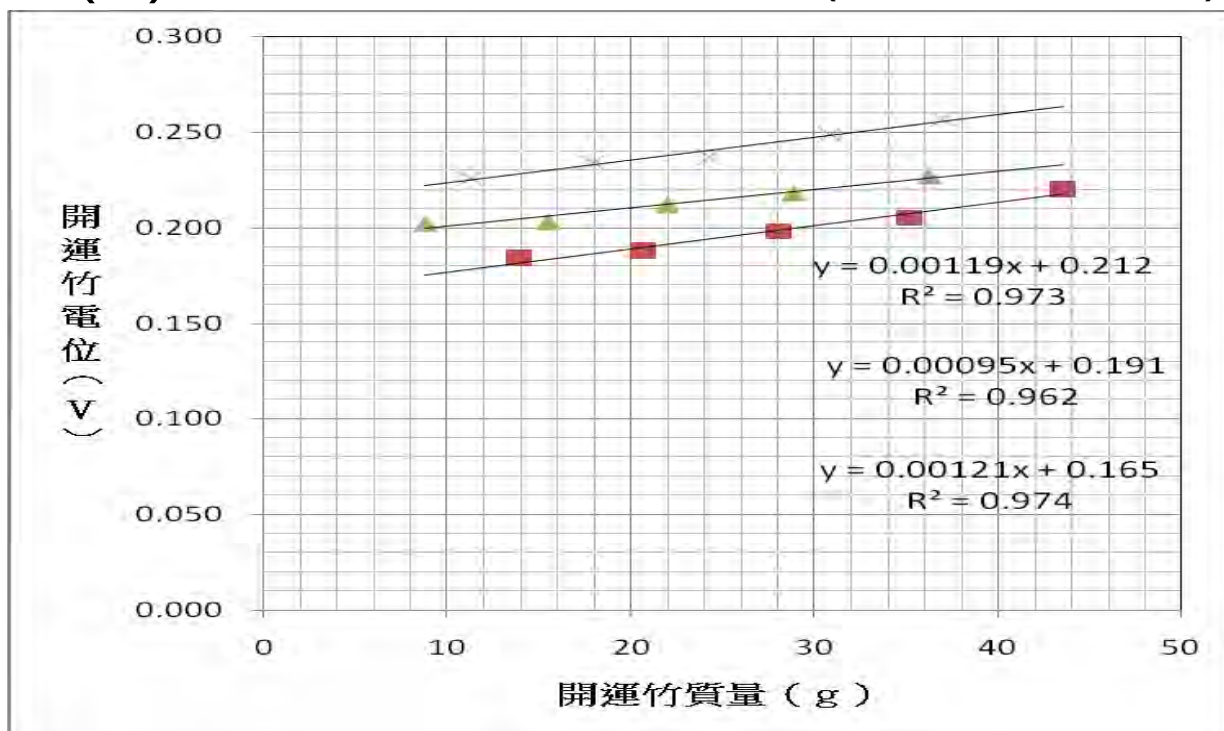
(一)合攏植株對植物電位的影響 (高度不變、質量改變)



結果分析：

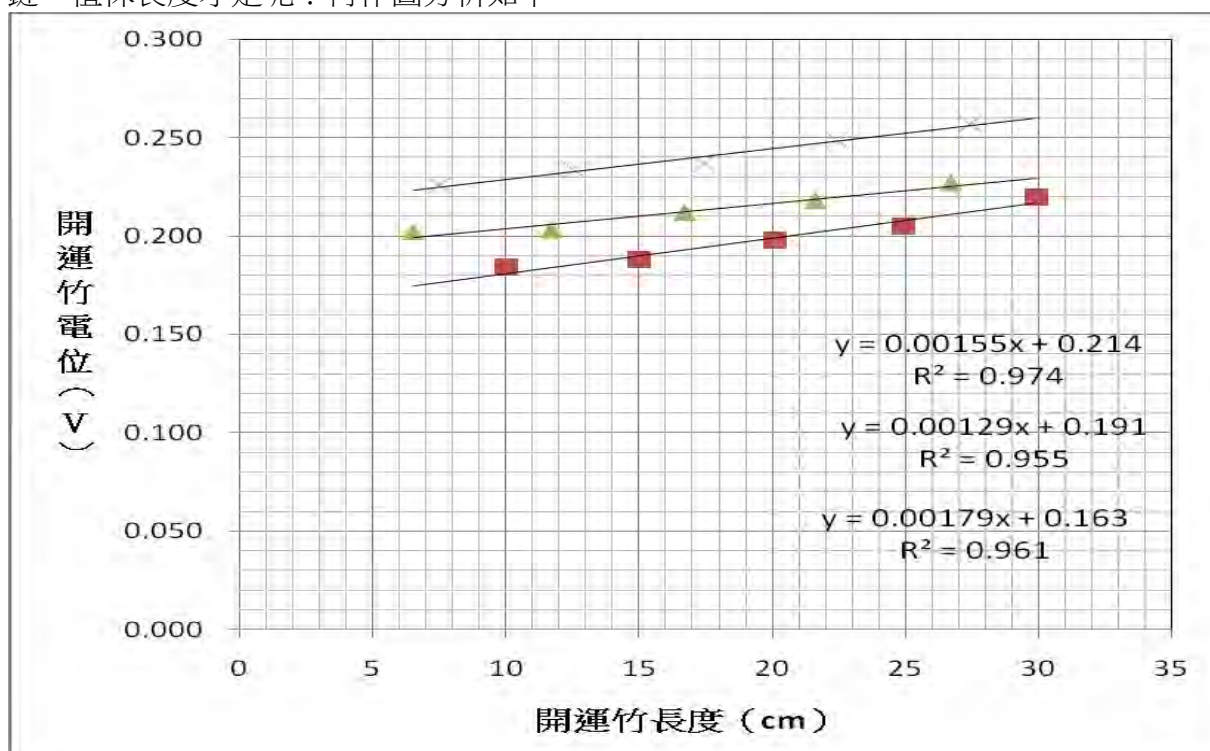
- 1、將開運竹一支一支合攏在一起，測量其電位變化，結果如上圖。因開運竹每支的質量都很接近，因此以支數或累計質量作圖分析，結果幾乎相同。
- 2、開運竹累計質量愈大，開運竹電位愈高，兩者有線性正相關（相關係數 0.956）。顯示植株的整體總質量會影響其電位。
- 3、兩者關係式為 $y = 0.00037x + 0.883$ ，將斜率除以截距，可得每克植株對植物電位的增加率為 0.042%，比【水與電解質對植物電位的影響】的各實驗結果（0.0035%、0.0017%、0.0279%）都來得高，且可高達約 25 倍，是植株的什麼特性造成與水的不同（實驗結果已顯示電解質濃度不影響電位）？原因有待後續研究。

(二) 截短植株對植物電位的影響 (高度、質量皆改變)

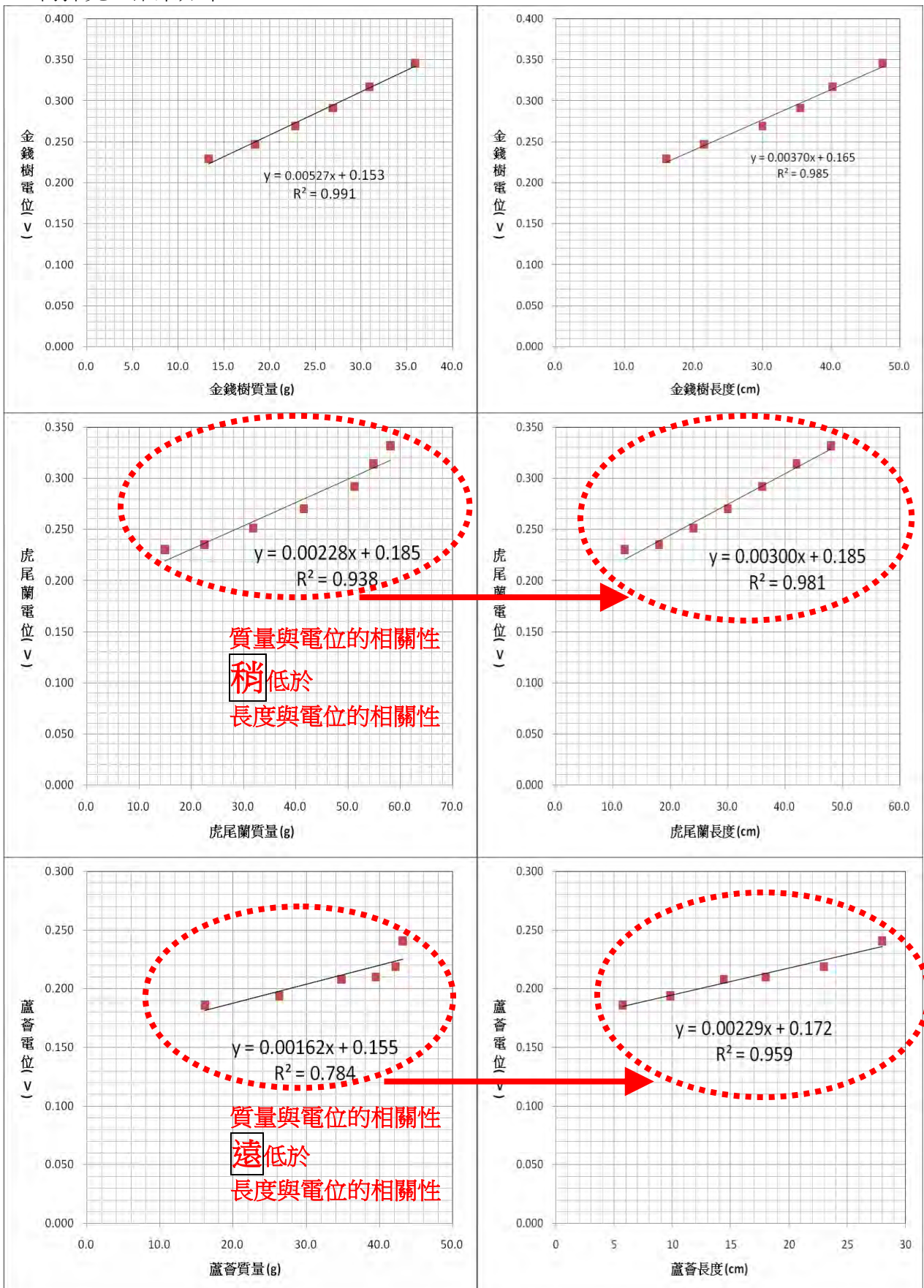


結果分析：

- 1、不斷截短開運竹，發現開運竹質量愈小，植物電位也愈小，兩者有線性正相關（相關係數 0.981~0.987），與（一）的結果相符。
- 2、將兩者關係式的斜率除以截距，可得每克植株對植物電位的增加率分別為 0.561%、0.497%、0.733%，比合攏開運竹的 0.042% 竟又高約 10 倍以上。
- 3、同樣是開運竹，每克植株對植物電位的增加率為何有如此差異？是否質量不是影響關鍵，植株長度才是呢？再作圖分析如下。



4、結果顯示開運竹長度愈小，植物電位也愈小，兩者同樣有線性正相關（相關係數 0.977~0.987）。無法判斷是質量還是長度才是影響關鍵？故選取金錢樹、虎尾蘭、蘆薈等植株再探究，結果如下。

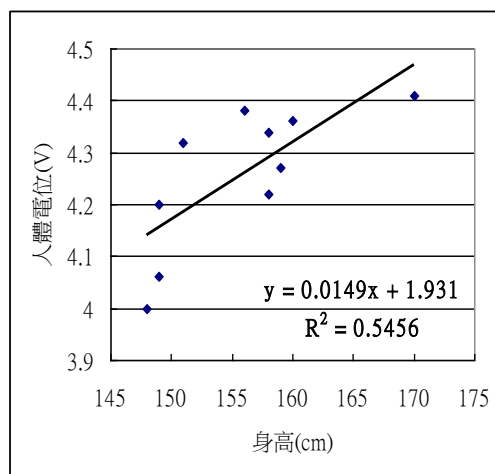
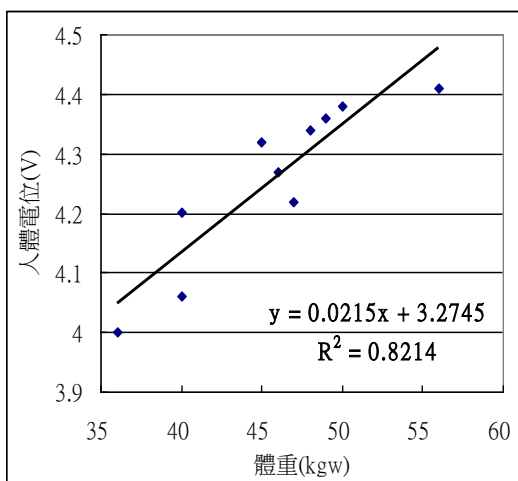


5、將三种植株分析如下，解答似乎找到了！在實驗條件下，植株長度與電位的相關性更高於植株質量與電位的相關性。

植株種類	型態	質量與電位的決定係數	長度與電位的決定係數
金錢樹	粗細均勻	0.991	0.985
虎尾蘭	寬窄不一	0.938	0.981
蘆薈	上窄扁下寬厚	0.784	0.959



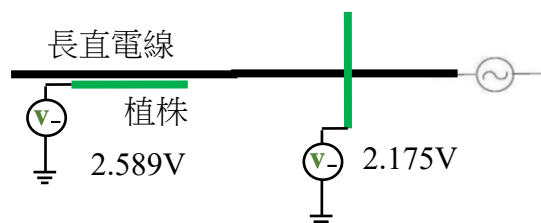
6、文獻認為「人體電位與體重較相關，與身高較無關」，應被修正！因為該研究是以坐姿的臀部面向電線，而非站姿將全身身面向電線所導致的結果（文獻資料如下）。



7、植物電位為何和植株長度有關呢？這疑似天線效應，即人體或植株碰觸伏特計的探針後，人體或植株形同天線，會撿拾電磁波中的電場，文獻圖如左下所示。另外，也有文獻認為是電容效應，有待後續研究。

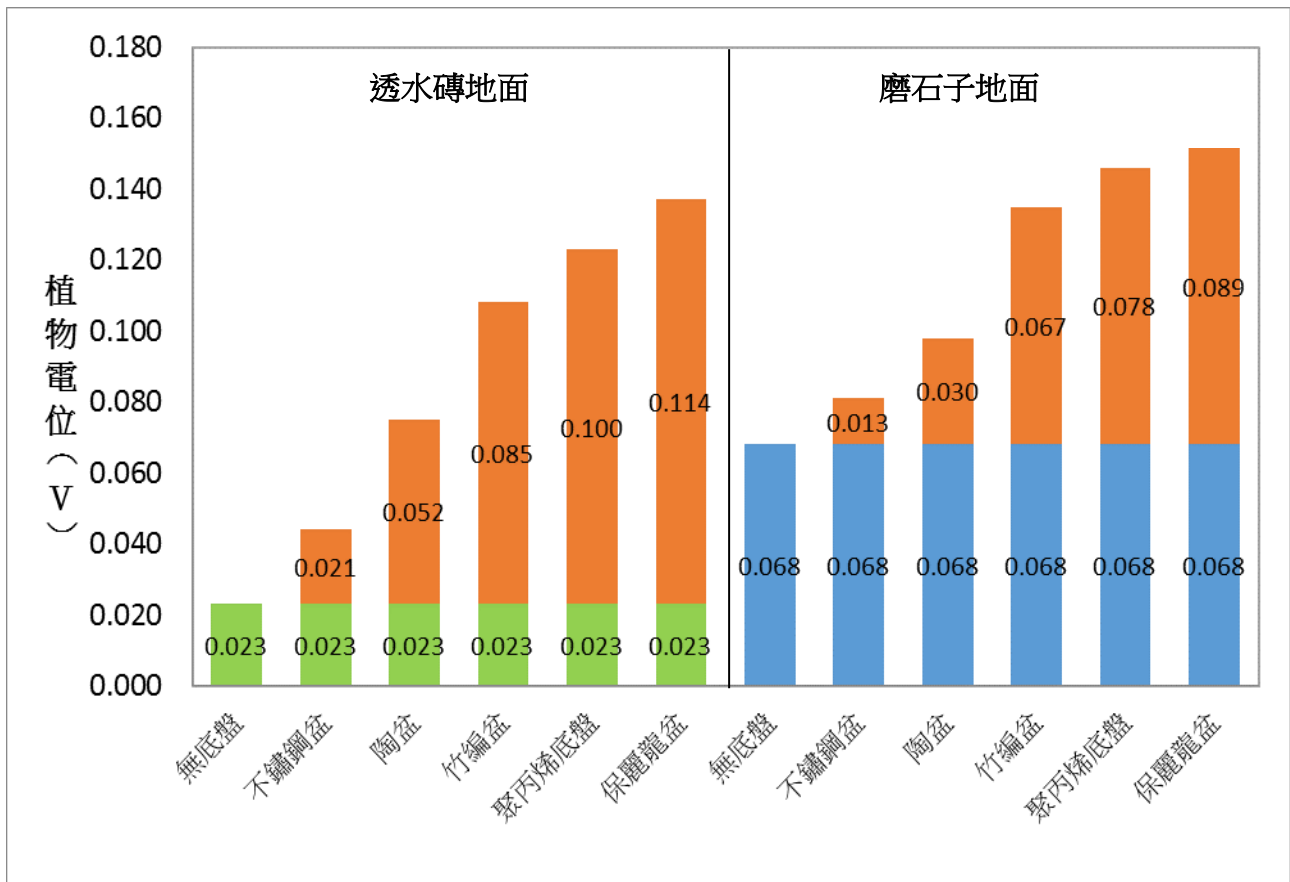


人體觸碰探針可以等效為偶極天線



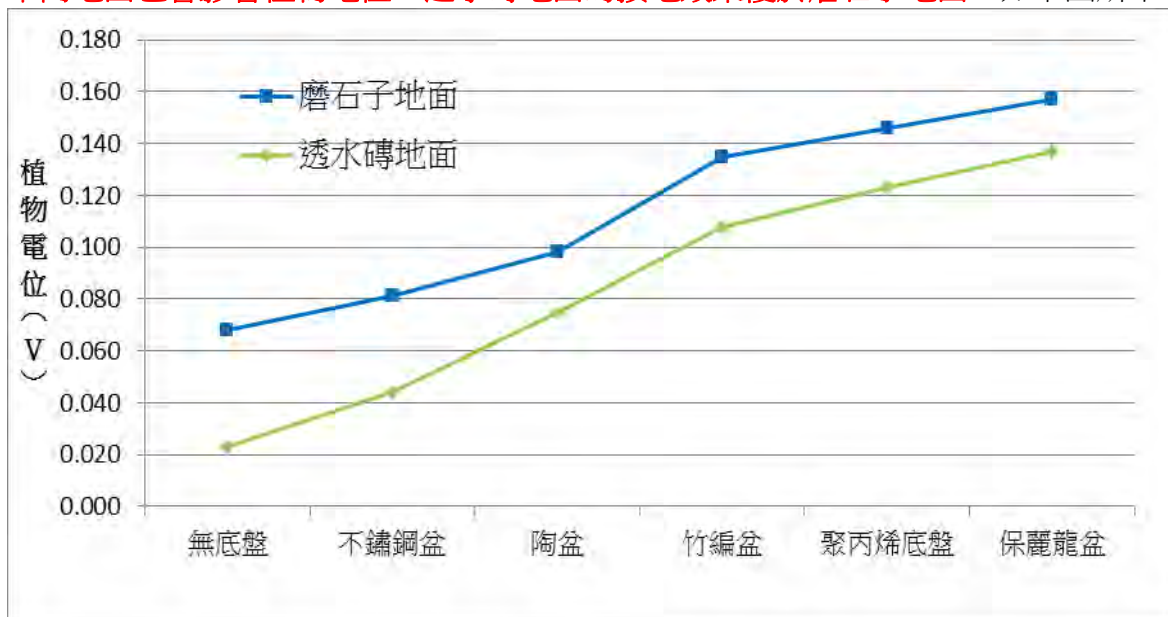
8、再簡單測試，發現植株與長直電線平行時的電位（2.589V）大於垂直時電位（2.175V），如右上圖所示。因此，綜合以上各研究，推測影響植物電位的因素還可能跟電場方向、植株表面積、厚度、角度等有關，可利用不同長度、厚度、寬度的鐵片、銅片等，以不同角度對準電場方向來探討，有待後續研究。

四、盆器與地面對植物電位的影響

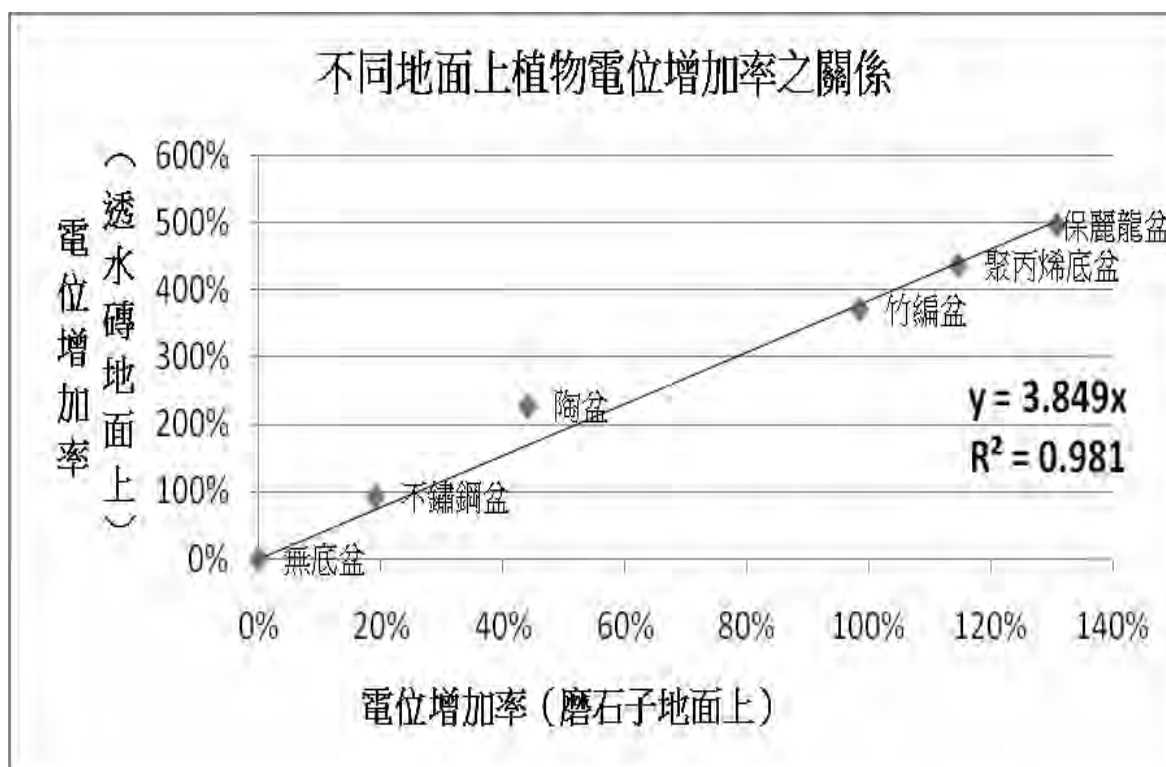
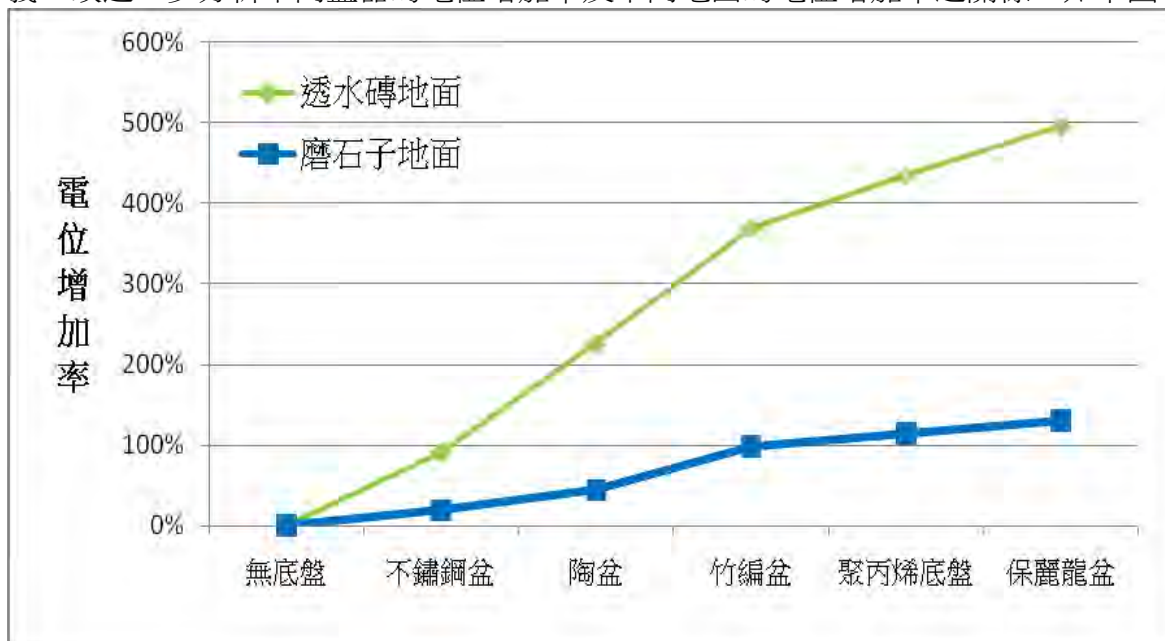


結果分析：

- 1、在電線影響下，將盆栽放入不同盆器後，因接地效果不同，其電位高低依序為保麗龍盆 > 聚丙烯底盤 > 竹編盆 > 陶盆 > 不鏽鋼盆 > 無底盤，顯示植物電位受盆器影響。
- 2、若要減少盆栽的生物電受干擾，可避免保麗龍盆、聚丙烯底盤等接地效果較差的盆器，而選用陶盆、金屬盆或不要放底盤。
- 3、不同地面也會影響植物電位，透水磚地面的接地效果優於磨石子地面，如下圖所示。



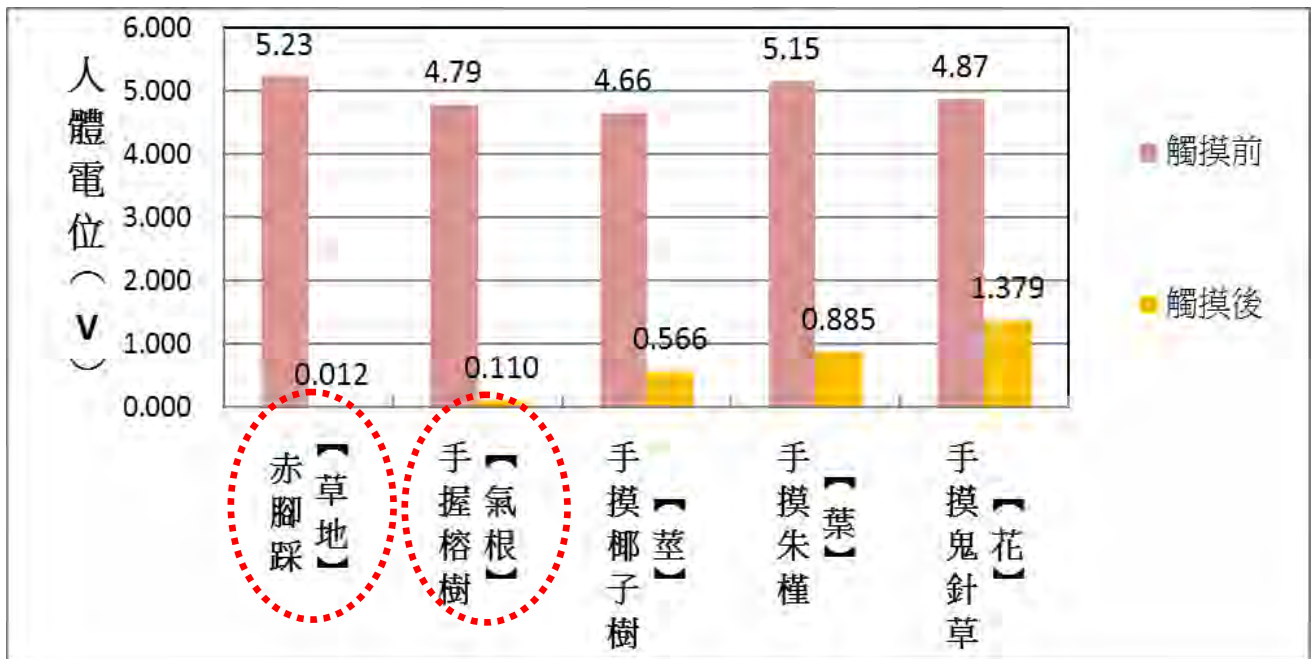
- 4、發現盆栽在透水磚地面上，基準電位低（無底盤時 0.023V），加上盆器後的電位增幅大（例如：加上保麗龍盆+0.114V）；而在磨石子地面上，基準電位高（無底盤時 0.068V），加上盆器後的電位增幅小（例如：加上保麗龍盆+0.089V）。試著分析其中意義，故進一步分析不同盆器的電位增加率及不同地面的電位增加率之關係，如下圖。



- 5、從以上分析，發現不同地面間似乎存在著「電位增加率關係式」，例如作圖所得的線性關係式 $Y=3.849X$ （相關係數 0.990），代表「透水磚地面電位增加率 = 磨石子地面電位增加率 \times 3.85」。假設某人在磨石子地面上，因為某因素（穿上雨鞋）使其電位增加 20%，則依照發現之關係式，可知同樣因素（穿上雨鞋）在磨石子地面上發生時，其電位將增加 $20\% \times 3.85 = 77\%$ 。不過，此推論還有待後續研究來證明是否正確？
- 6、若「電位增加率關係式」存在，則可依照本研究方法，來探討草地、木質地面、磁磚地面、以及不同樓層地面等關係。之後，將草地設為基準後，是否即可「標準化」並「量化」每種地面的接地效果呢？有待後續研究。

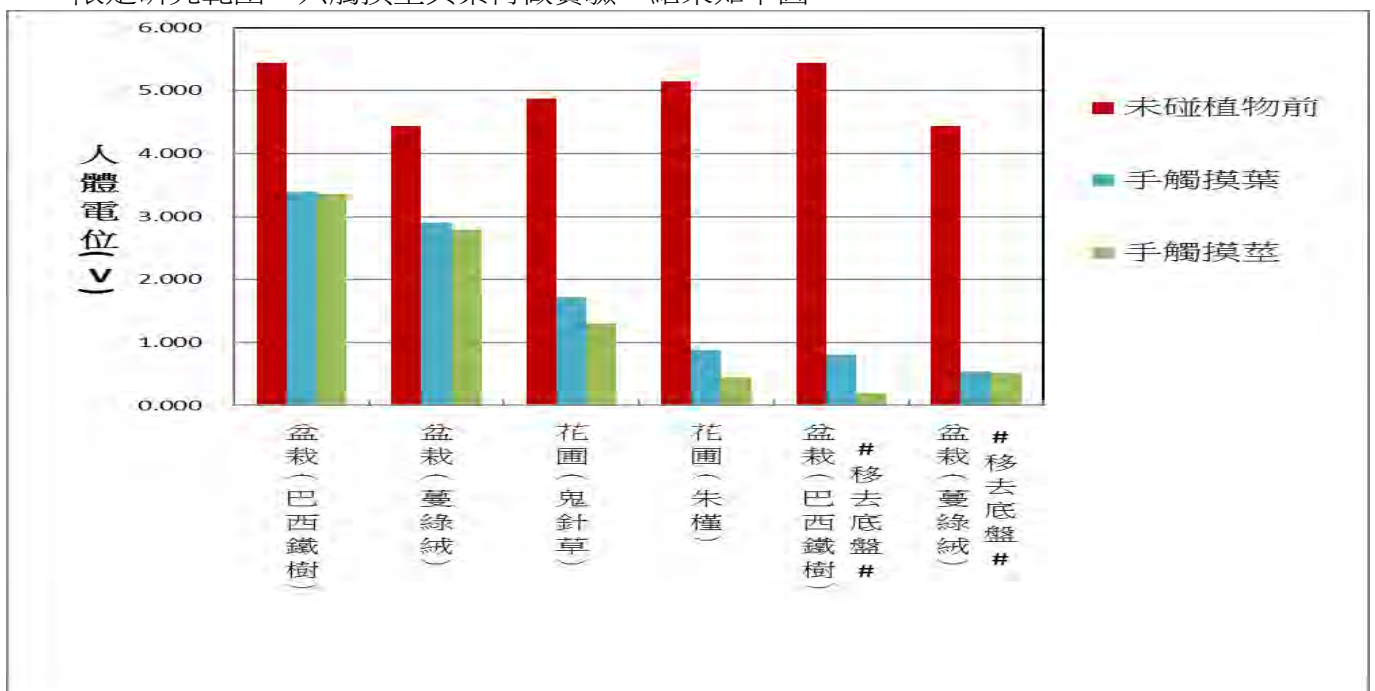
五、藉由植物來接地對人體電位的影響

(一)人體觸摸植物前後，人體電位的變化情形



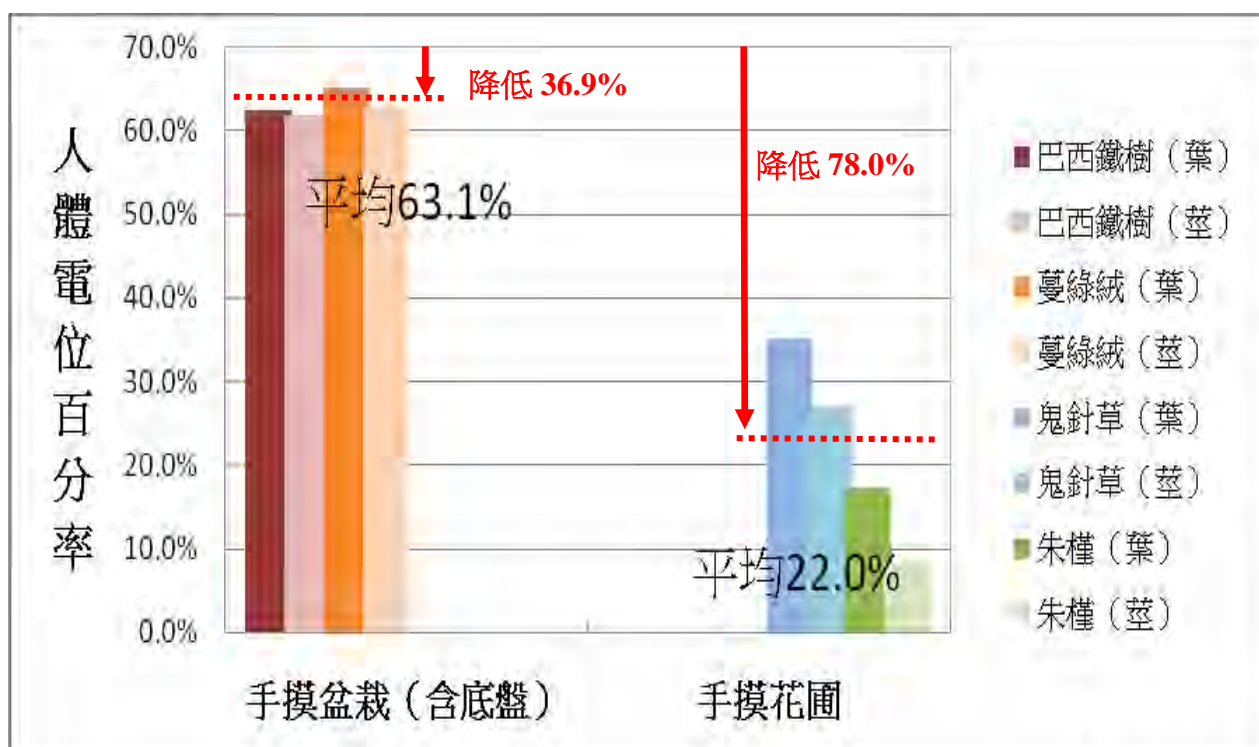
結果分析：

- 1、在實驗設計下，人體電位在觸摸植物前約為 5V，觸摸植物後，電位普遍下降，顯示**觸摸植物有接地效果**，其中**赤腳踩草地效果最佳**，**手握榕樹氣根效果次佳**。
- 2、現今多數人幾乎整天都穿著鞋子，而用手觸摸植物時，莖和葉是最容易觸摸的部位，故限定研究範圍，只觸摸莖與葉再做實驗，結果如下圖。



- 3、觸摸植物後，人體電位皆下降，但因影響因素多，故下降幅度不等。下列(二)及(四)分別以人體電位百分率來分析觸摸盆栽或花園，及觸摸植物莖或葉，對降低人體電位有何影響？

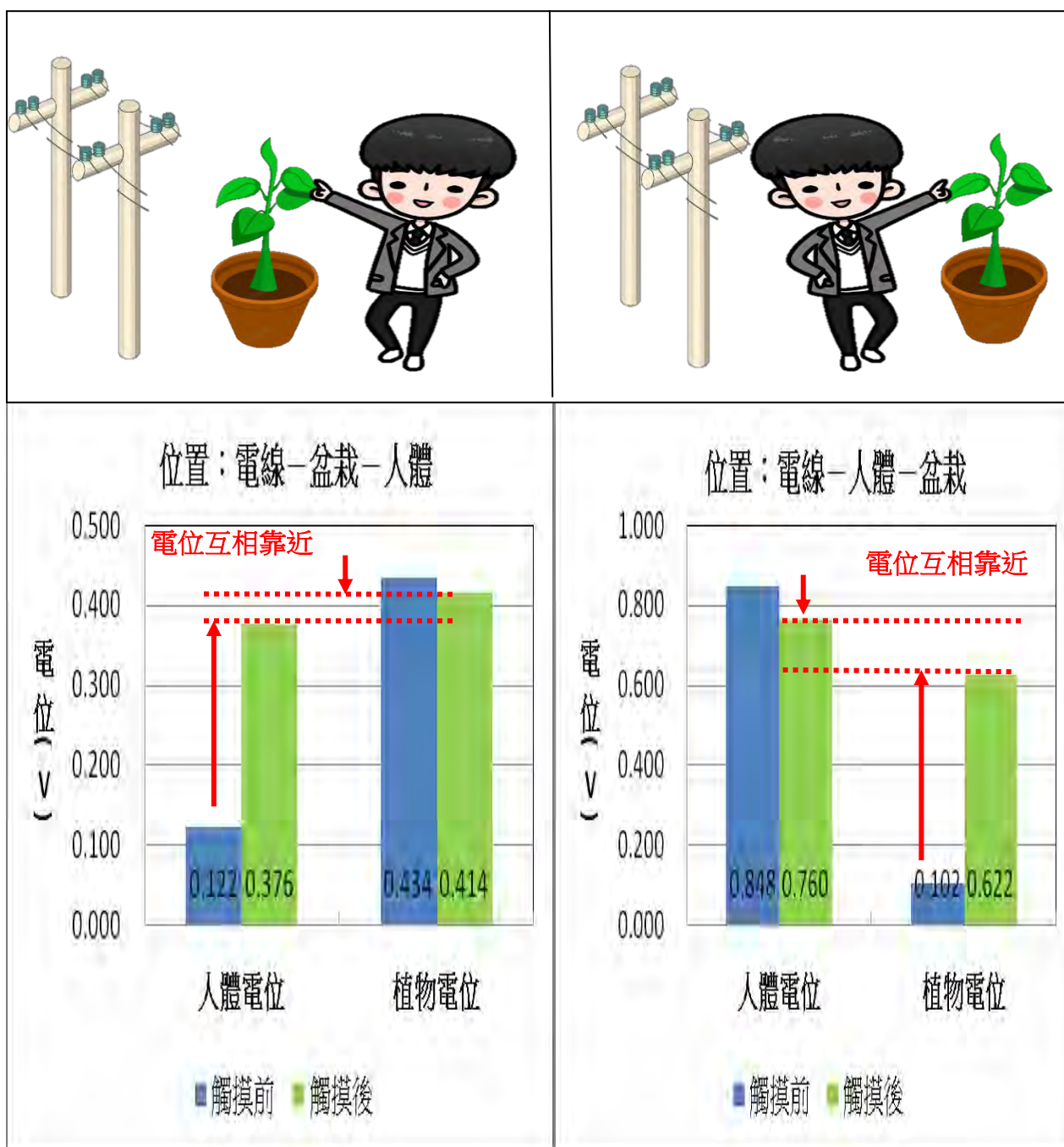
(二)觸摸盆栽或花圃對人體電位的影響



結果分析：

- 1、**手摸花圃的植物比摸盆栽 (含有聚丙烯底盤) 更能降低人體電位。**以本研究條件的結果來算平均，手摸盆栽 (含有聚丙烯底盤)，人體電位降為原電位的 63.1% (降低 36.9%)；手摸花圃植物，則降為原電位的 22.0% (降低 78.0%)。
- 2、推測原因為**花圃植物與大地接觸，和地表同電位，因此人體觸摸後有較佳的接地效果。**
- 3、另外，將盆栽的聚丙烯底盤移去後，若盆栽即能與地面有良好接地的話，手摸這類盆栽，則人體電位的下降幅度甚至大於觸摸花圃的植物。至於如何讓盆栽有良好的接地效果？是用電線連接盆土與底盤底部？或用鋁箔貼紙連接植株與地面？或單純盆底滲水即可？有待**後續研究**。
- 4、本結果是模擬人體接觸電線而產生較高交流電位的情況下去觸摸植物。實際居家生活中，電線未必較接近人體，也可能較接近盆栽，此時也有相同結果嗎？下列 (三) 進行探討。

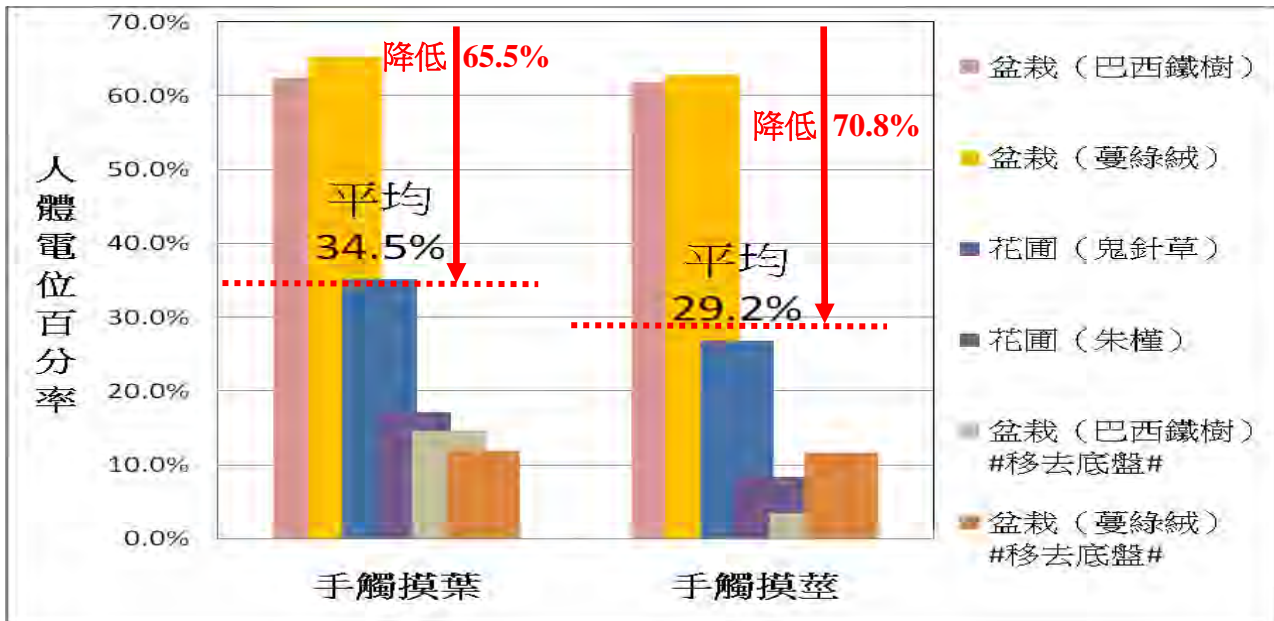
(三)觸摸盆栽時，盆栽的相對位置對人體電位的影響



結果分析：

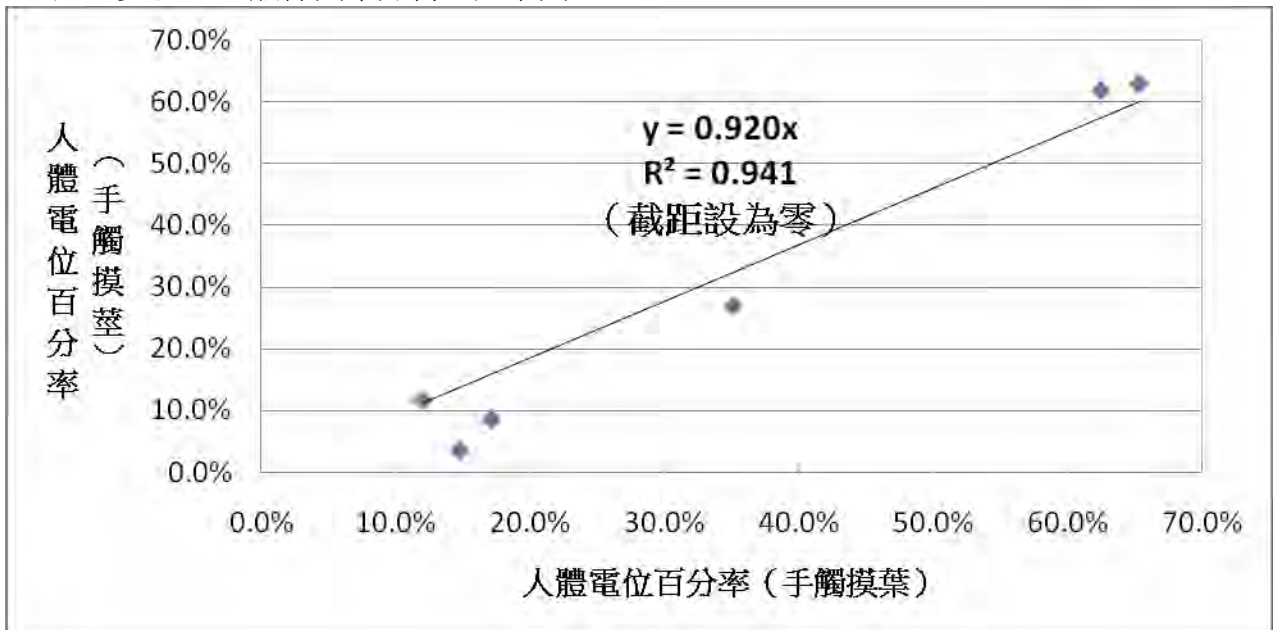
- 1、當盆栽較靠近電線時，手摸盆栽，人體電位上升，而植物電位下降，兩者電位互相靠近。相反的，當人體較靠近電線時，手摸盆栽，人體電位下降，而植物電位上升，兩者電位仍舊互相靠近，似乎有些類似連通管原理。不過，即使是同一植株，其不同部位的電位就會有差異了，因此人體與植物接觸後，兩者電位雖互相靠近，但仍有差距，沒有完全相同。
- 2、一般認為，接近植物可降低人體電位，但實驗顯示並非必然如此。因為如果盆栽未接地，且盆栽受到附近交流電場影響而產生較高的植物電位時，人體觸摸該盆栽，反而會增加人體電位。所以，在室內，人體若要藉由觸摸盆栽來接地，以降低人體電位，該盆栽本身必須有良好的接地才行。

(四)觸摸植物的莖或葉對人體電位的影響



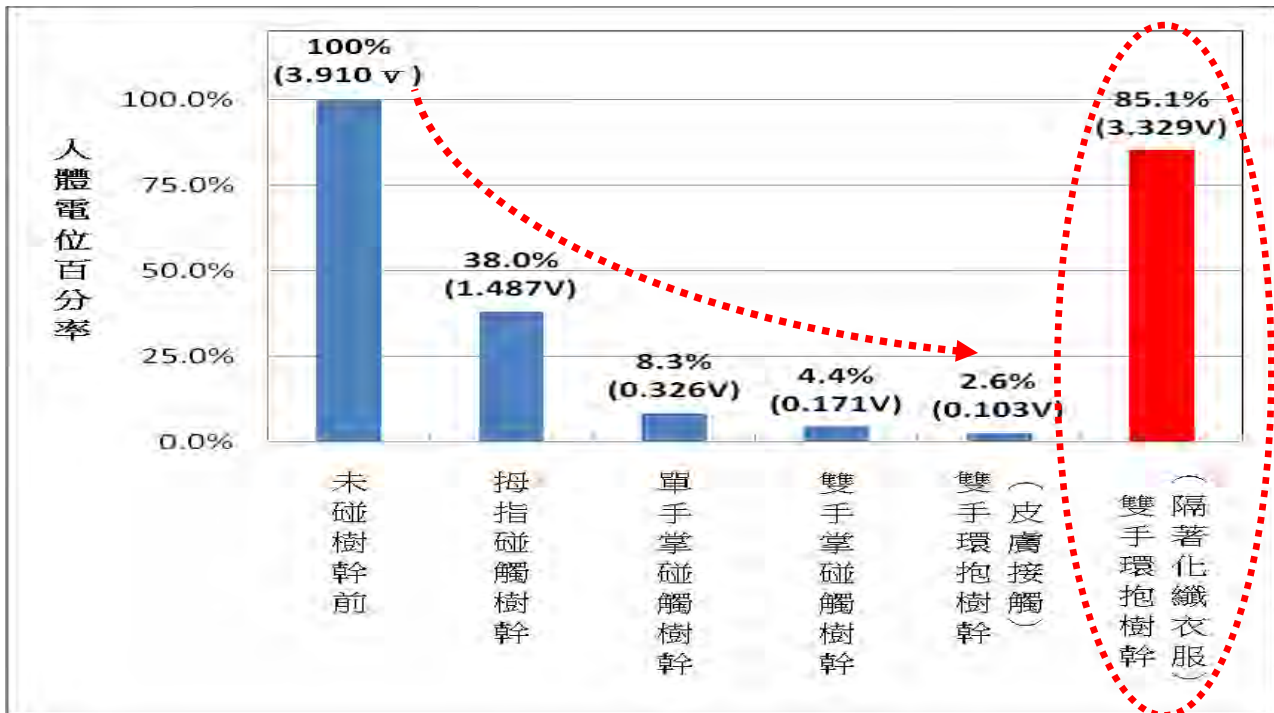
結果分析：

- 1、以本研究條件的結果來算平均，手觸摸葉，人體電位降為原電位的 34.5%（降低 65.5%）；手觸摸莖，則降為原電位的 29.2%（降低 70.8%）。
- 2、進一步以 X-Y 散佈圖來分析，如下圖。



- 3、實驗過程中，人體不管觸摸哪個植物，觸摸莖都比觸摸葉更能降低人體電位。觸摸莖的人體電位約為觸摸葉的 0.92 倍。推測這與葉、莖的接觸表面性質或葉扁平狀，莖圓柱狀等有關，原因有待後續研究。
- 4、手觸摸葉與手觸摸莖的相關係數 ($r=0.970$) 接近 1，且斜率 (0.92) 接近 1，代表不管觸摸植物的莖或葉，所觸摸的該「植物本身」才是關鍵。
- 5、已知人體觸摸植物的莖有不錯的接地效果，且大樹的莖（樹幹）也是我們最容易觸摸的部位，因此若觸摸樹幹的方式不同有何影響呢？下列（五）繼續探討。

(五)觸摸樹幹的方式對人體電位的影響



結果分析：

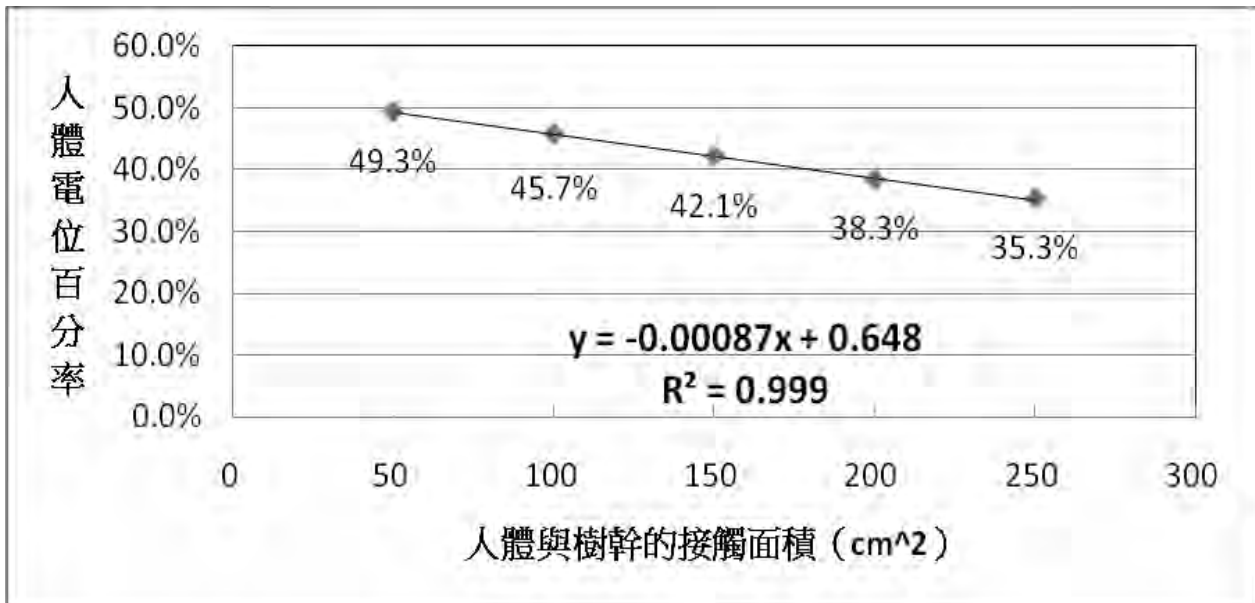
- 1、觸摸樹幹可降低人體電位，降低幅度為【雙手環抱（皮膚接觸）】>【雙手掌】>【單手掌】>【拇指】>【雙手環抱（隔者化纖衣服）】。
- 2、實驗中，以皮膚接觸的方式去擁抱樹木有最佳的接地效果。因此，若想要接地又不方便脫鞋的話，擁抱樹木是個很好的替代選擇。這與自然醫學中的樹木療法，研究人員認為樹木生物場會影響人體，擁抱樹木可降低人體的腎上腺素，也許有所關連。



取自蘋果日報 <https://tw.appledaily.com/headline/daily/20140606/35875950/>

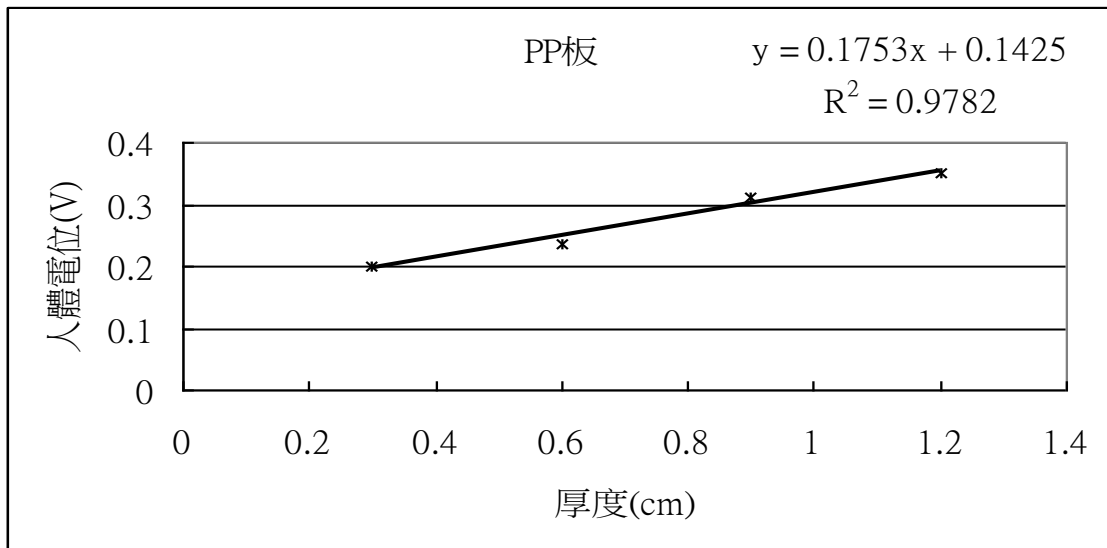
- 3、穿著化纖衣服去擁抱樹木會嚴重影響接地效果，這如同人穿著塑膠鞋採在草地的情況。
- 4、從結果來看，人體電位的下降與觸摸樹幹的接觸面積應有很大關聯，下列（六）繼續深入探討。備註：為了有較佳的平整樹幹表面以避免誤差，實驗的樹種從槭樹改為大王椰子樹，並以鋁箔貼紙來定量接觸面積。

(六)觸摸樹幹的面積對人體電位的影響



結果分析：

- 1、人體經由鋁箔貼紙觸摸樹幹的面積愈大，人體電位就愈低，在鋁箔貼紙 50-250cm²的範圍內，兩者有線性的負相關（決定係數 $R^2=0.999$ ）。原因可能是因為電阻與截面積成反比，所以接觸面積愈大→電阻愈小→接地效果愈佳→人體電位愈小。
- 2、從文獻中得知：腳踩在同種材質上，若材質厚度愈大，人體電位就愈高，兩者有明顯的線性關係。其原因是因為電阻與長度成正比，所以材質愈厚→電阻愈大→接地效果愈差→人體電位愈大，文獻圖形如下。



- 3、雖然人體電位與接地物的電阻可能有關，但是電阻與截面積成反比，而人體電位在某範圍內與接地面積成線性負相關，這兩者的意義不同。所以已知電阻定律為：

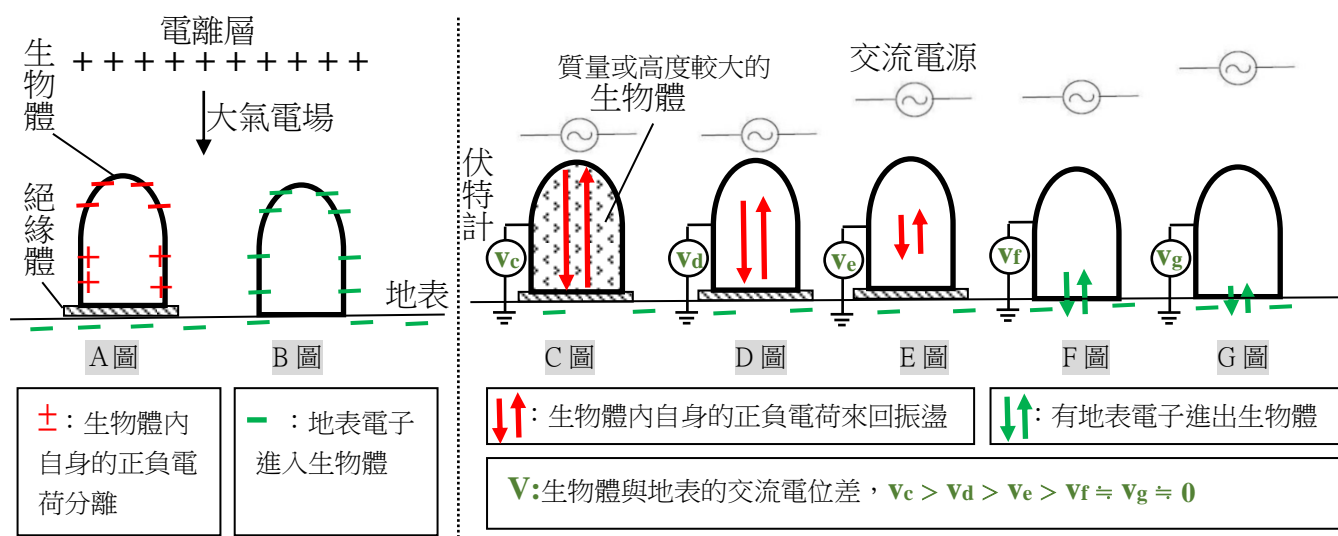
$$\text{電阻} = \text{電阻係數} \times \frac{\text{長度}}{\text{截面積}}$$

而綜合本次結果及文獻資料，在某範圍內人體電位可近似為：

$$\text{人體電位} = A \times \text{接地物的厚度} - B \times \text{接地面積} + C$$

柒、討論

綜合以上研究，我們試著將結果、原理及推論整理如下圖。生物體接地後與大地等電位，在大氣電場下，有地表電子進入生物體（B圖）；在交流電場下，有地表電子進出生物體（F、G圖）。反之，生物體未接地，無法接觸地表電子，因此在大氣電場或交流電場下，將使生物體內自身的正負電荷分離（A圖）或來回振盪（C~E圖），可能使體內電場失衡。加上過程中，生物體與化纖衣物摩擦、風吹等因素使生物體失去電子，長期下來將累積正電，持續氧化，推測可能較不利健康與生長。



捌、結論

- 盆栽在室外時，植物電位幾乎為零，代表與地表電位相同。從室外進入室內，植物電位微幅上升，若靠近電器，則大幅上升，顯示盆栽會受到家用交流電的影響。
- 種植在大地的植物，如大王椰子樹，其電位完全不受電線距離的影響，可能植物接地後，對低頻電場有屏蔽的效果。
- 距離較遠時，植物電位與纏繞電線的距離平方成反比（相關係數為 0.994），而不是與距離成反比（相關係數為 0.881）。
- 對植物澆水，水的質量愈大，植物的電位就愈高。將電位與水量關係圖所得關係式的斜率除以截距，可得每克水對電位的增加率。實驗結果為 0.0035%（無植株單純加水）、0.0017%（水耕植物加水）、0.0279%（土耕植物加水）。顯示水對電位雖有影響，但影響程度很低。
- 植物體內充滿電解質，且電解質水溶液中的離子能增加導電性，但結果卻顯示食鹽水的濃度大小（0~15%）與電位無關（相關係數 0.021，近乎 0），有待後續研究。
- 合攏植株時（植株整體高度不變），累計質量增加，植物電位就愈高，兩者有線性正相關（相關係數 0.956）。且每克植株對植物電位的增加率（0.042%），比每克水對電位的增加率要高許多。
- 截短植株，植株高度減少，質量減少，植物電位也隨之降低。仔細比較後，發現植物電位與植株長度的相關性更高於植物電位與植株質量的相關性，代表植株長度才是影響植物電位的關鍵因素之一，植株疑似具有天線效應。

- 八、 將盆栽放入不同盆器後，因接地效果不同，其電位高低依序為保麗龍盆>聚丙烯底盤>竹編盆>陶盆>不鏽鋼盆>無底盤，顯示植物電位受盆器影響。
- 九、 若要減少盆栽的生物電受干擾，可避免使用保麗龍盆、聚丙烯底盤等接地效果較差的盆器，而可選用陶盆、金屬盆或不要放底盤。
- 十、 不同地面也會影響植物電位，透水磚地面的接地效果優於磨石子地面。
- 十一、 發現不同地面間似乎存在著「電位增加率關係式」，如「透水磚地面電位增加率 \div 磨石子地面電位增加率 $\times 3.85$ 」（相關係數0.990），有潛力用來「標準化」並「量化」每種地面的接地效果。
- 十二、 在戶外親近大自然時，以赤腳踩草地、手握榕樹氣根等方式來觸摸植物，有不錯的接地效果。且手摸花園的植物比摸盆栽更能降低人體電位。
- 十三、 一般認為接近植物可降低人體電位，但未必如此。因為若盆栽未接地，且盆栽受到附近交流電場影響而產生較高的植物電位時，人體觸摸該盆栽，反而會增加人體電位。所以，在室內，人體若要藉由觸摸盆栽來接地，以降低人體電位，該盆栽本身必須有良好接地才行。
- 十四、 觸摸莖都比觸摸葉更能降低人體電位。觸摸莖的人體電位約為觸摸葉的0.92倍。
- 十五、 觸摸樹幹可降低人體電位，降低幅度為【雙手環抱（皮膚接觸）】>【雙手掌】>【單手掌】>【拇指】>【雙手環抱（隔者化纖衣服）】。因此，若想要接地又不方便脫鞋的話，擁抱樹木是個很好的替代選擇。
- 十六、 人體經由鋁箔貼紙觸摸樹幹，鋁箔貼紙面積愈大，人體電位就愈低，在50~250cm²的範圍內兩者有線性的負相關（決定係數R²=0.999）。原因可能是因為電阻與截面積成反比，所以接觸面積愈大→電阻愈小→接地效果愈佳→人體電位愈小。

玖、參考資料

- 一、 龔家寶、曾奕誠、許富宏（2017）· 接地氣(Earthing)－家用交流電下相關因子對人體電位之影響· 中華民國第57屆中小學科學展覽會國中組物理科作品說明書。
- 二、 克林特·歐伯等人(2015)· 接地氣－大地是最好的醫生，修復體內抗氧化系統，對抗自由基· 臺北市：地平線文化。
- 三、 陳博棟、遼邁、陳小強、胡延文(2014年12月)· 特高壓交流輸電線路對人體電場效應的對比分析· 《輻射研究與輻射工藝學報 Vol.32, No.6》· 取自：
<http://www.j.sinap.ac.cn/fushe/CN/article/downloadArticleFile.do?attachType=PDF&id=214>
- 四、 習崗、楊運經(2008年12月)· 大氣電場及其對植物和農業的影響· 《大學物理 COLLEGE PHYSICS Vol.27 No.12》· 取自：
<http://dxwl.bnu.edu.cn/CN/article/downloadArticleFile.do?attachType=PDF&id=4942>
- 五、 劉文珍(2015年8月21日)· 高壓靜電場改變電位延長水果保鮮期限· 國立教育廣播電台· 取自：http://bulletin.dyu.edu.tw/index.php?msg_ID=18906&pool_ID=19&isHidden=1
- 六、 手摸示波器探棒-為何有弦波？原因在這裡 (2018年9月)· 實作派電子實驗室· 取自：
<https://www.strongpilab.com/sine-wave-appear-finger-touch/>
- 七、 為什麼有工頻干擾？(2018年1月)· 電子發燒友（電子工程師社區）· 取自：
http://www.elecfans.com/article/88/131/189/2018/20180104610841_a.html
- 八、 Dominic Clarke, Heather Whitney, Gregory Sutton, Daniel Robert (2013)· Detection and Learning of Floral Electric Fields by Bumblebees · Science 340, 66 · From：
http://www.esalq.usp.br/lepse/imgs/conteudo_thumb/Detection-and-Learning-of-Floral-Electric-Fields-by-Bumblebees.pdf

【評語】 030112

本作品是一件相當有趣的研究，探討家用交流電下相關因子對植物電位之影響以及人體藉由觸摸植物來接地之研究。

本作品變因控制考慮得非常周全，不需非常複雜的儀器，發現人體若要藉由觸摸盆栽來接地，以降低人體電位，該盆栽本身必須有良好接地。除此之外，本作品結果建議盡量選用天然材質的椅、鞋等等，題目有趣貼近生活。若能長期追蹤在電線影響下的植物成長，也會帶來更多的資訊。

但是本件作品量測的是交流電壓，量測到的可能是電源線的感應電壓，鼓勵作者繼續做進一步更系統化的探討。

摘要

報導指出植物生長與病害發生受大氣電場調控、花卉釋放電場信號與蜜蜂溝通、利用高壓靜電場改變電位可延長水果保鮮期限、將花束接地 (grounding) 可延緩枯萎，顯示植物生理現象與電場有關，並可能受到家用交流電的低頻電場干擾。

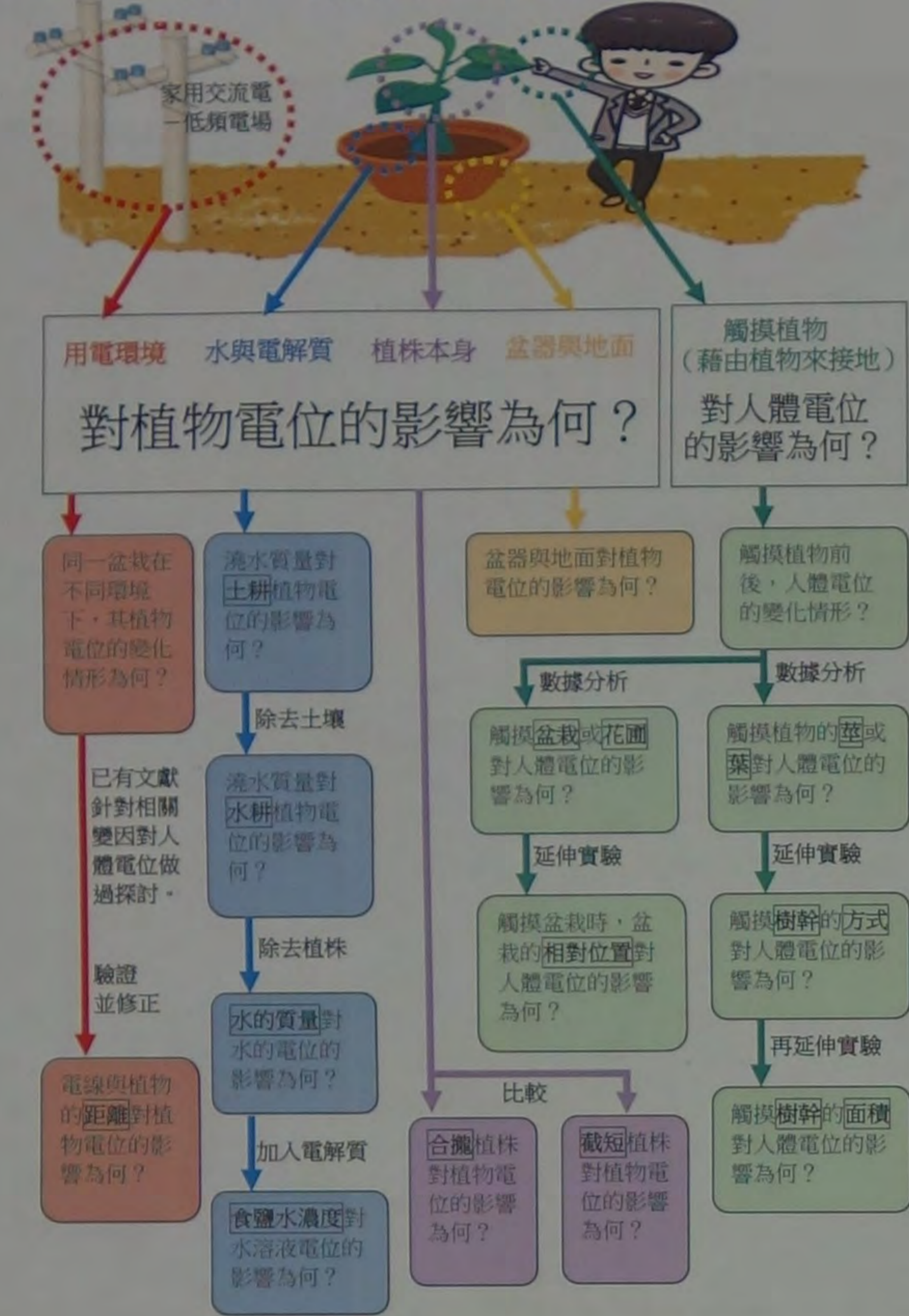
研究發現在家用交流電下，植物電位 (以地表為零電位) 與植株長度具線性正相關，植株疑似具天線效應；植物電位與澆水量具線性正相關，與電解質濃度似無關；距離較遠時，植物電位與纏繞電線的距離平方成反比；地面或盆器影響植物電位，任兩材質之「電位增加率」具正比關係，可用以量化各種地面的接地效果。

此外，研究結果也提供盆栽接地以及人體如何藉由植物來接地的建議，以減少生物電功能受到干擾。

壹、研究動機

人體接地後可與大地等電位，避免受到低頻電場等干擾，已有愈來愈多的研究顯示人體接地後對健康的療效。那麼人除了赤腳以外，觸摸植物是否也有接地效果呢？另外，室內盆栽、採摘後的花束、擺放的水果……等非種植於大地或已遠離大地的植物，是否也會受到交流電場干擾？如果讓其接地，是否能有較佳的生長或較長的保鮮呢？這些與我們在七上生物 (5-4 植物對環境的感應) 所學內容有關，也與未來九下理化 (1-3 家庭用電安全) 的接地概念有關。在老師指導下，我們決定先從物理方面下手，探討家用交流電下植物電位受到什麼因素影響？以及人體觸摸植物是否能有效接地？期待建立這些研究基礎後，再進行接地是否影響植物生長等生物方面的研究。

貳、研究目的及設計



參、研究設備及器材

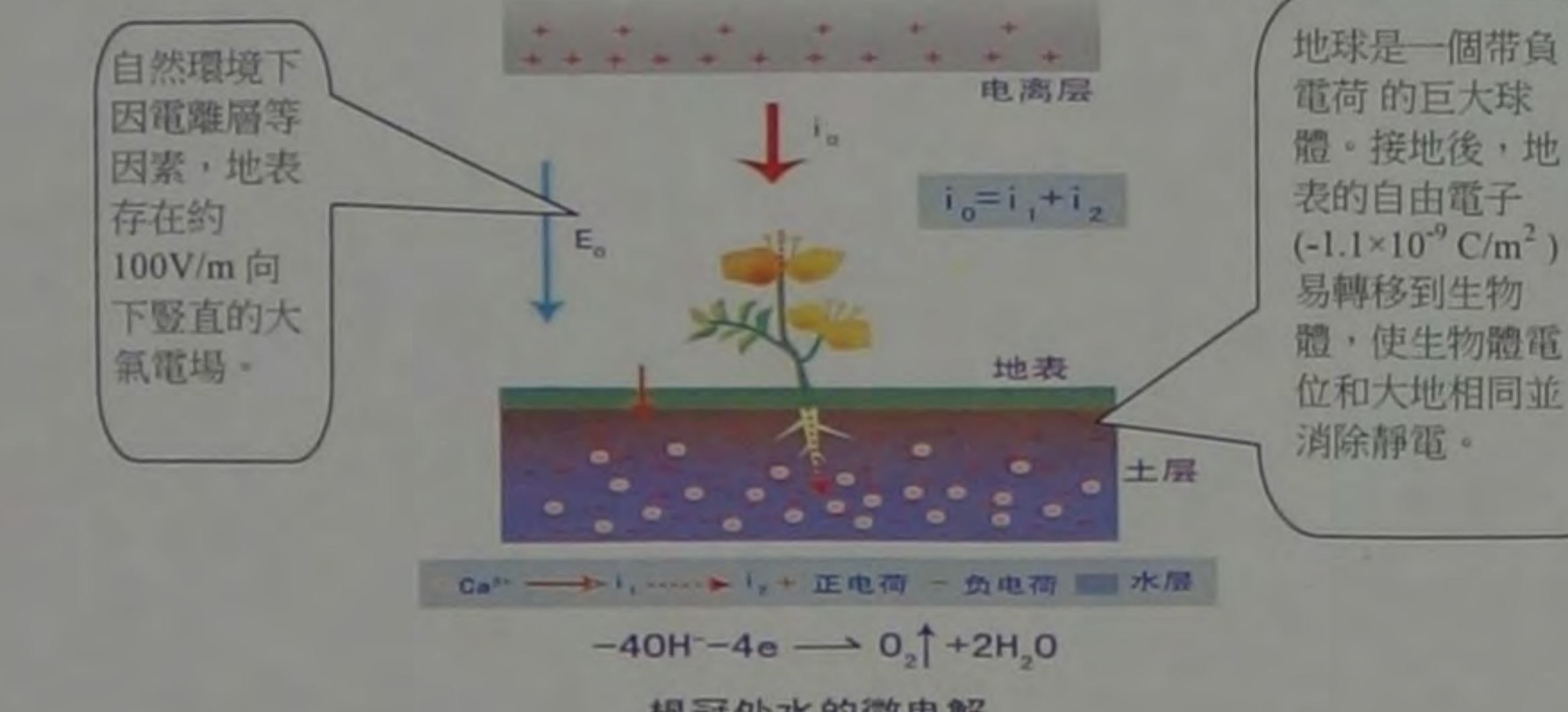
多功能電錶 (KILTER 325)、接地鋼棒、接地線、輪座式電線、電子天平、PP 四腳圓凳、盆器 (聚丙稀底盤、陶瓷、竹編盆、不銹鋼盆、保麗龍盆)、盆栽 (虎尾蘭、蘆葦、金錢樹、黃金葛、開運竹……)、戶外植物 (大王椰子樹、榕樹、槭樹、朱槿……)。

肆、文獻探討

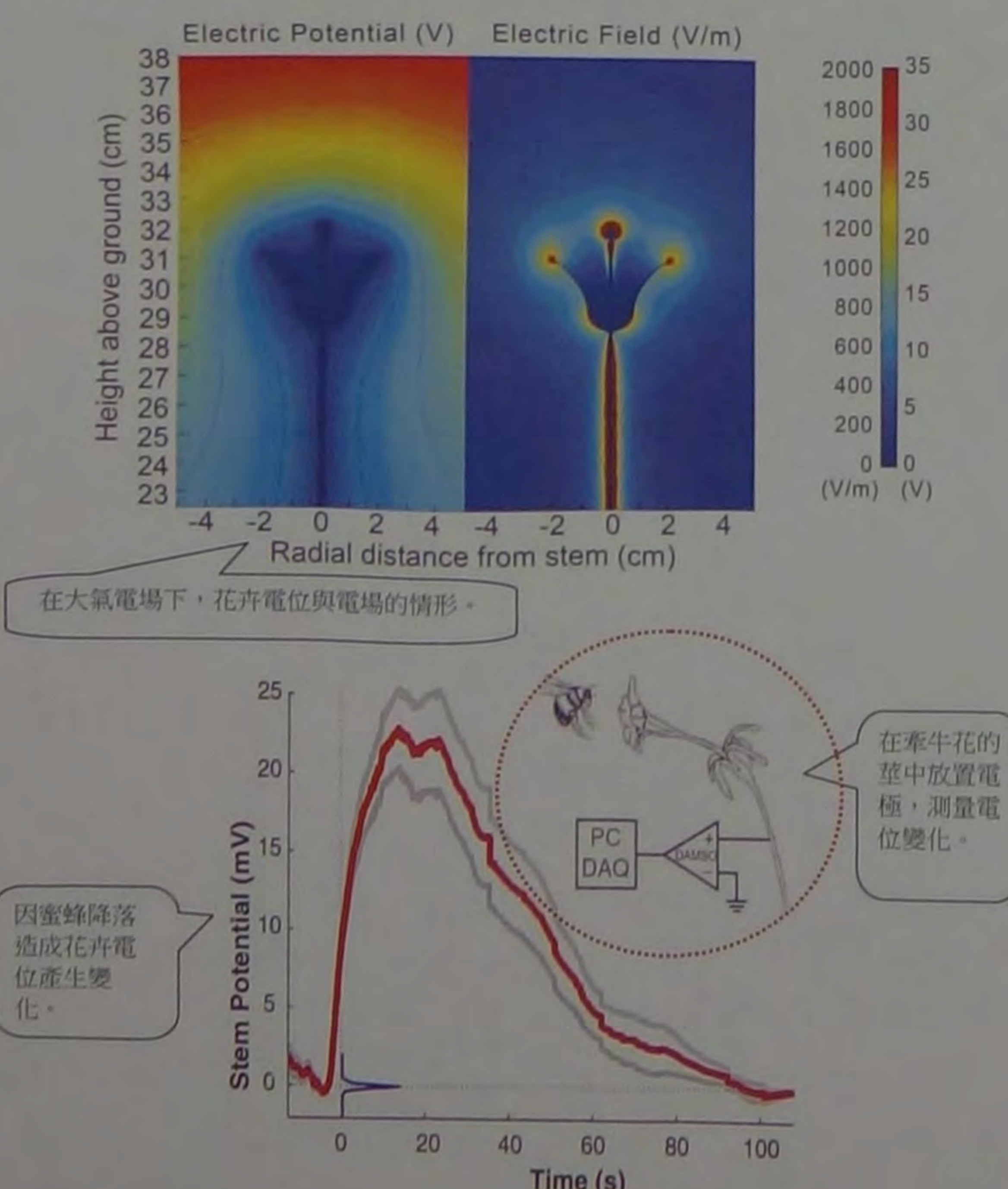
電力生活的「人為電磁汙染」使環境達到德國健康住宅電磁波規範的極強干擾等級，其影響是在人體內感應出微弱的電場和電流，使人體與地表產生交流電位差。人體接地後，地表的自由電子易在人體轉移，使人體電位和大地相同，產生「接地氣」的療效。



人體如果需要接地氣，植物呢？植物接地有其生理效應。如下圖所示，植物接地後，其生長方能受到大氣電場的正常調控。



另外，2013 年 Daniel Robert 等人在 (science) 期刊發表，花朵會發出微弱的電場來吸引蜜蜂，蜜蜂也會透過電場來判斷花朵有沒有花蜜。當蜜蜂在飛行，翅膀不斷與空氣摩擦，累積正電荷，地面的花朵因為接地帶有負電荷。每當蜜蜂停在花上，正負電荷互相抵消，花的電位就會改變，電位的變動會持續約 100 秒。當另一隻蜜蜂飛來，就會感受到花的電場變化，判斷花蜜可能不多而直接飛走。



伍、研究方法與過程

(詳細步驟請參閱作品說明書)

前置工作



一、用電環境對植物電位的影響

(一)同一盆栽在不同環境下，其植物電位的變化情形



(二)電線與植物的距離對植物電位的影響



二、盆器與地面对植物電位的影響

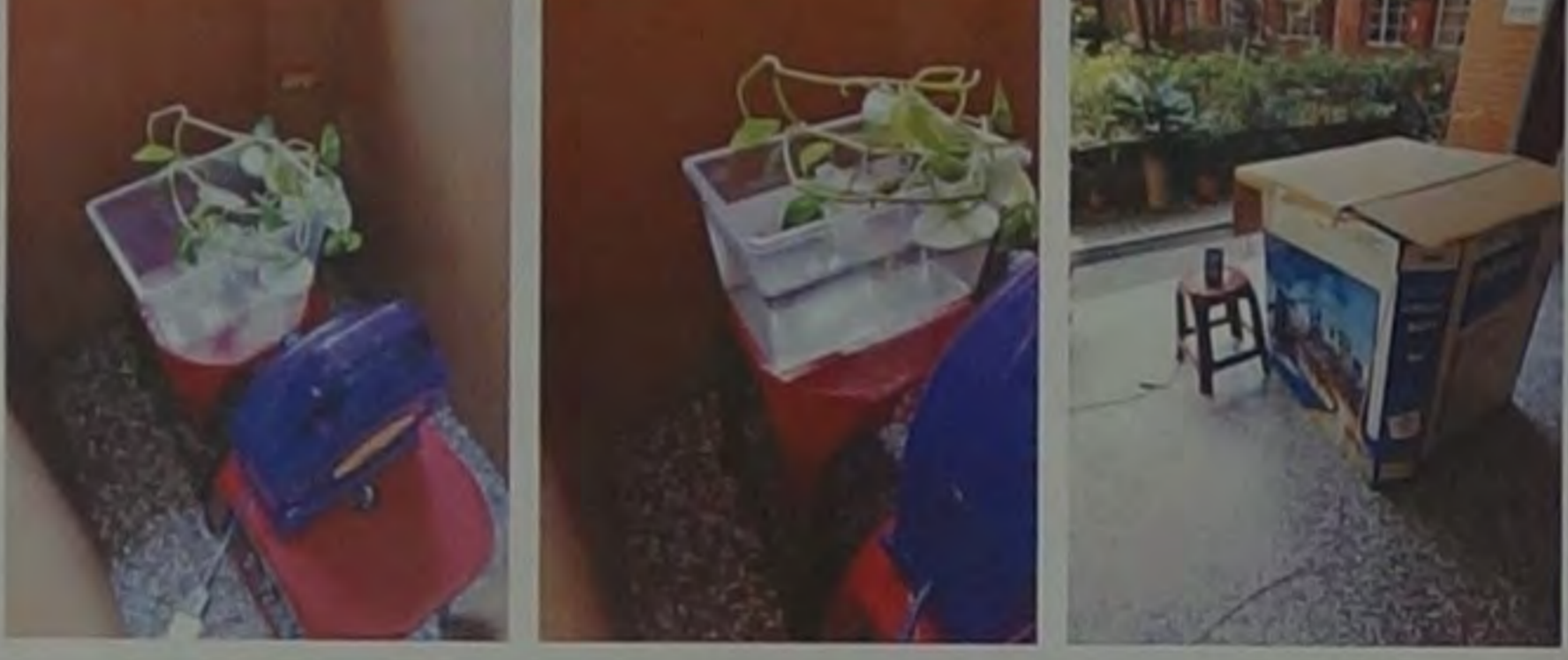


三、水與電解質對植物電位的影響

(一)澆水質量對土耕植物電位的影響



(二)澆水質量對水耕植物電位的影響 (無土壤)



(三)水的質量對水的電位的影響 (無土壤、無植株)

(四)食鹽水濃度對水溶液電位的影響



四、植株本身對植物電位的影響

(一)合攏植株對植物電位的影響



(二)截短植株對植物電位的影響



五、觸摸植物對人體電位的影響

(一)人體觸摸植物前後，人體電位的變化情形

(二)觸摸盆栽或花園對人體電位的影響

(三)觸摸盆栽時，盆栽相對位置對人體電位的影響

(四)觸摸植物的莖或葉對人體電位的影響



(五)觸摸樹幹的方式對人體電位的影響



(六)觸摸樹幹的面積對人體電位的影響



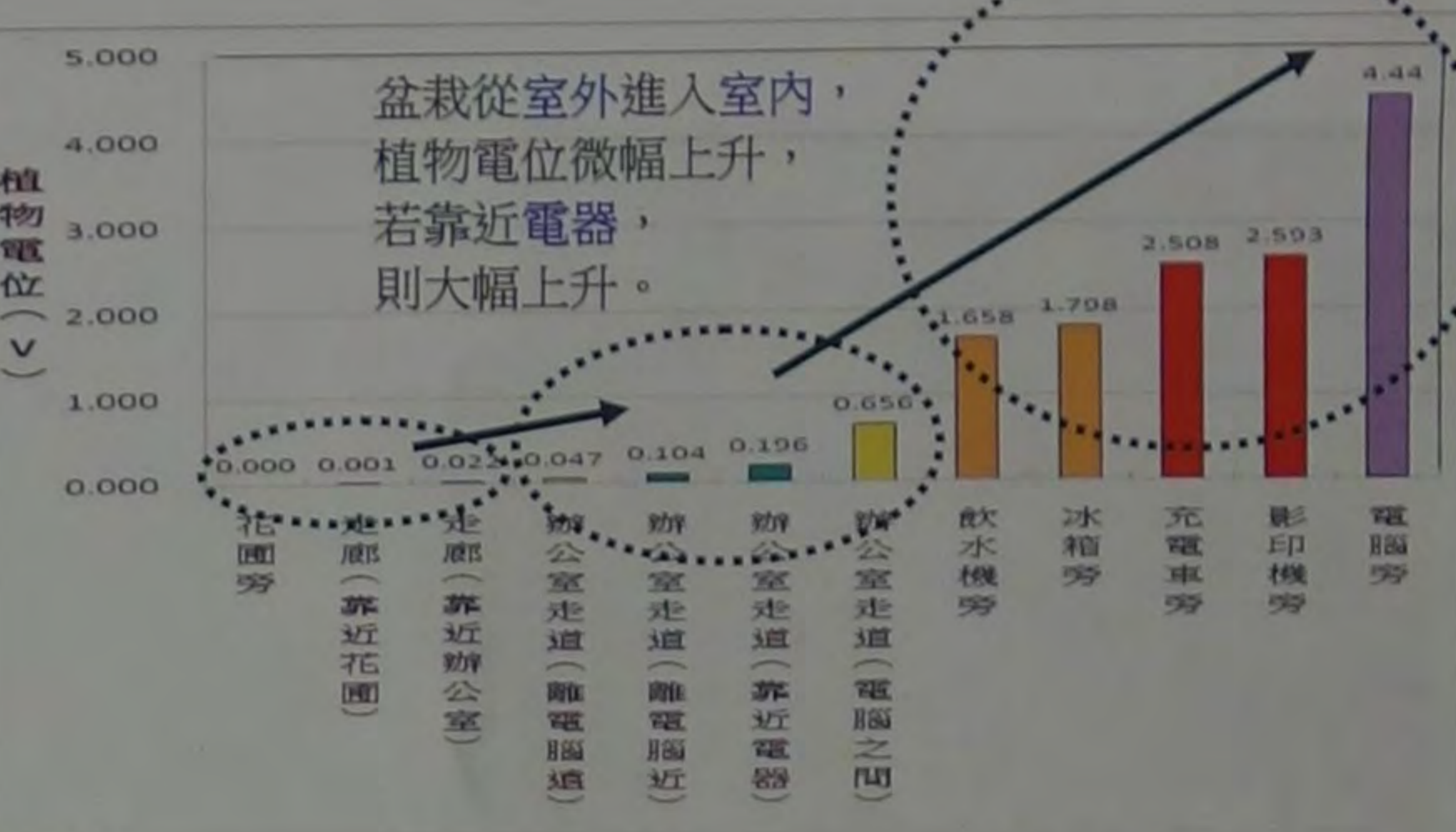
陸、研究結果與分析

一、用電環境對植物電位的影響

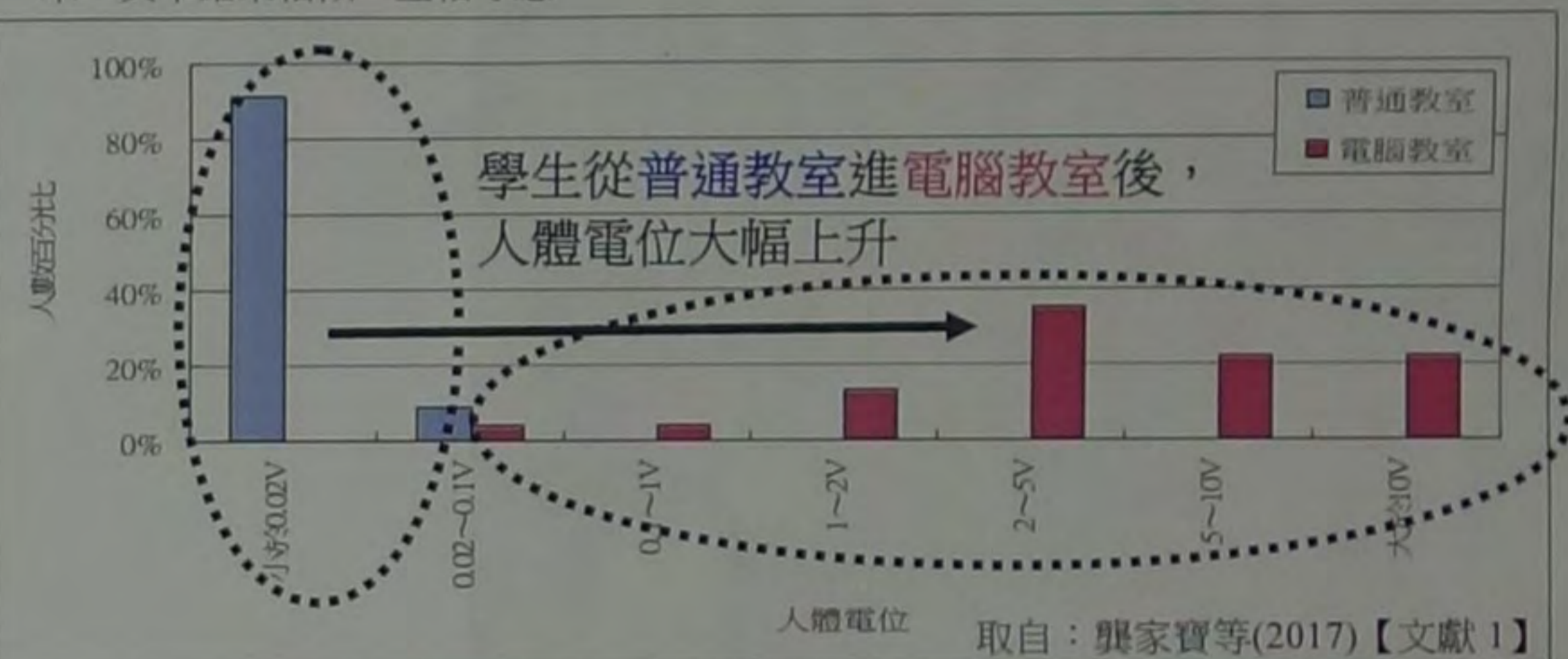
(一)同一盆栽在不同環境下，其植物電位的變化情形



*環境示意圖、實驗照片 (圖中數據為盆栽在該處所測得的電位)

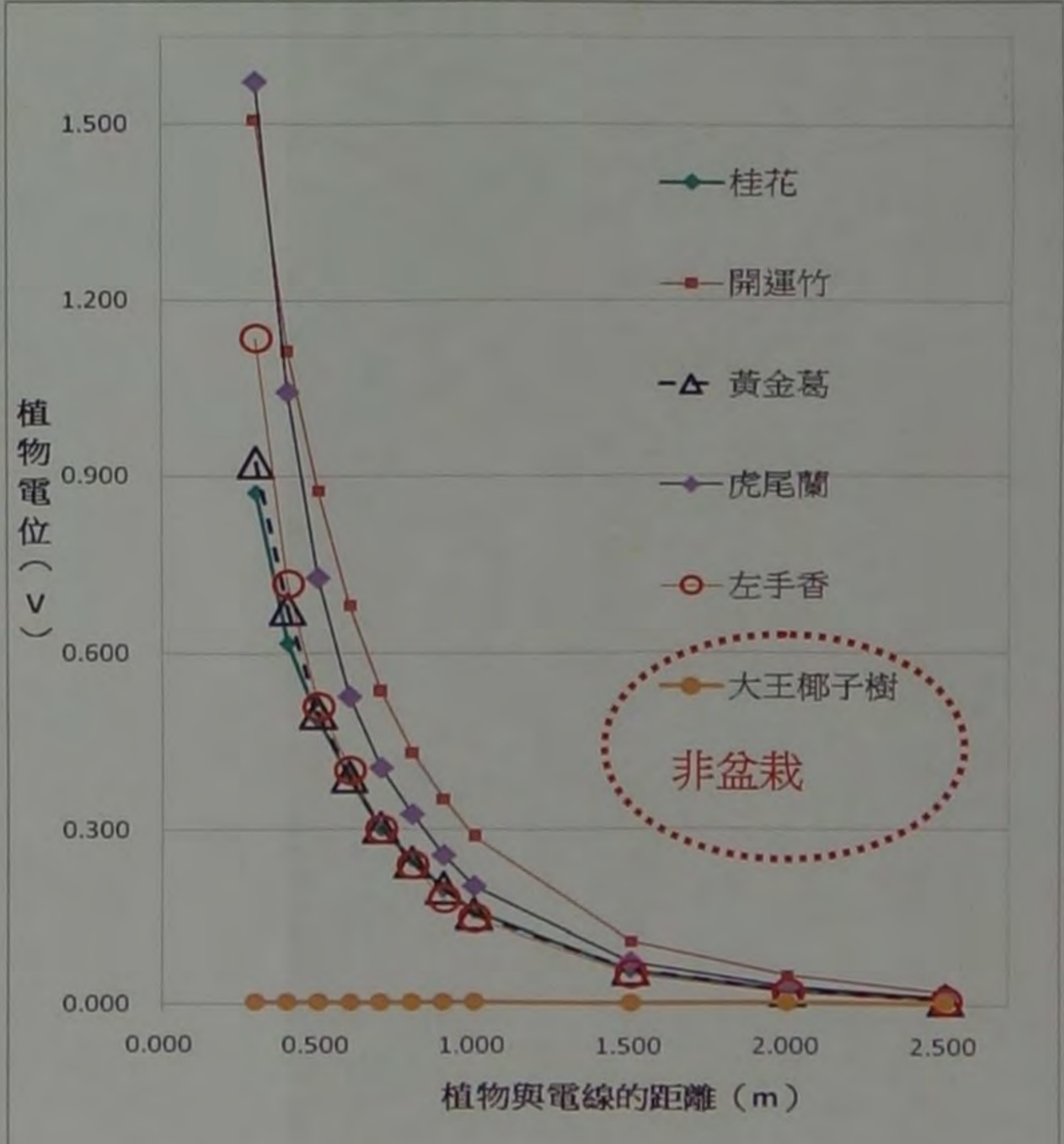


結果分析：
1. 盆栽在室外時，植物電位幾乎為零，代表與地表電位相同。從室外進入室內，植物電位微幅上升，若靠近電器，則大幅上升，顯示盆栽受到家用交流電的影響。
2. 此結果應與電器產生的交流電場有關，如右圖 (取自普通物理學教科書)。
3. 從文獻得知老師從戶外進入辦公室後，人體電位大幅上升；學生從普通教室到電腦教室後，人體電位也大幅上升，如圖所示，與本結果相似，互相呼應。

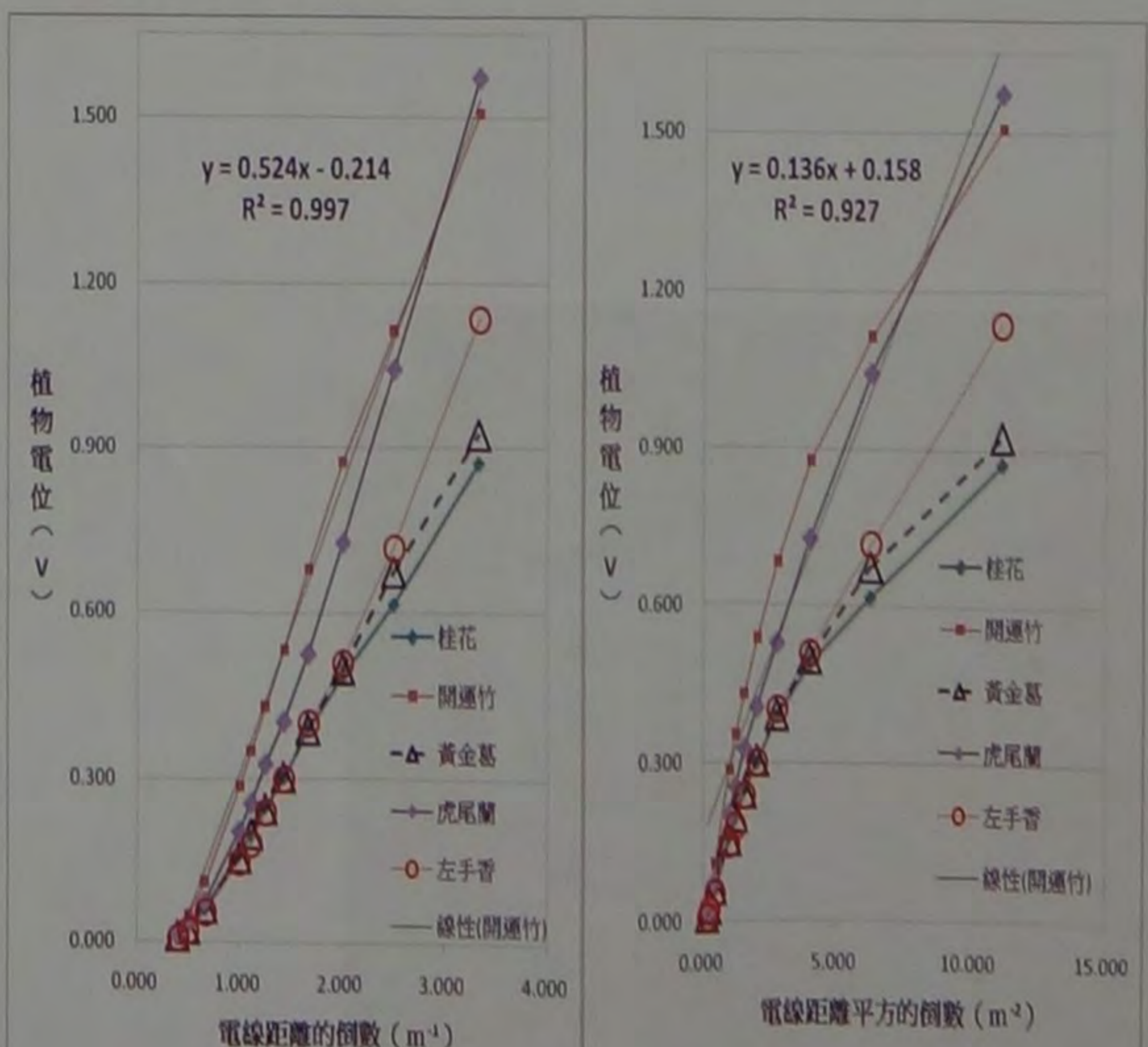


4. 盆栽在不同環境下，其電位為何有此變化呢？從文獻得知【影響人體電位的主因是低頻電場，而非電流大小】，【人體電位與電線的纏繞圈數正相關】，【人體電位與電線距離平方成反比】，【人體電位與接地物的厚度正相關】等。但人體與植物不同，而且盆栽還含有盆土等，上述結論是否可直接適用於植物呢？下列 (二) 以電位與電線距離成反比，此一有明顯數學關係式的實驗來進行驗證。

(二)電線與植物的距離對植物電位的影響



結果分析：
1. 除了大王椰子樹是生長於大地上，其他桂花、開運竹等皆為盆栽 (且放在塑膠凳上測量)，發現大王椰子樹的電位完全不受電線距離的影響，可見植物接地後，可能植物接地後，對低頻電場有屏蔽的效果。
2. 盆栽的植物電位會受電線距離影響，並隨者電線距離縮短而增加。兩者有何關係呢？作圖如下，並以開運竹做趨勢線的線性分析，發現植物電位似乎與電線距離成反比！而不是與距離平方成反比！這與羅家寶等 (2017) 【文獻 1】研究結果不同，難道人體電位與電線距離的關係，和植物電位與電線距離的關係真有不同？



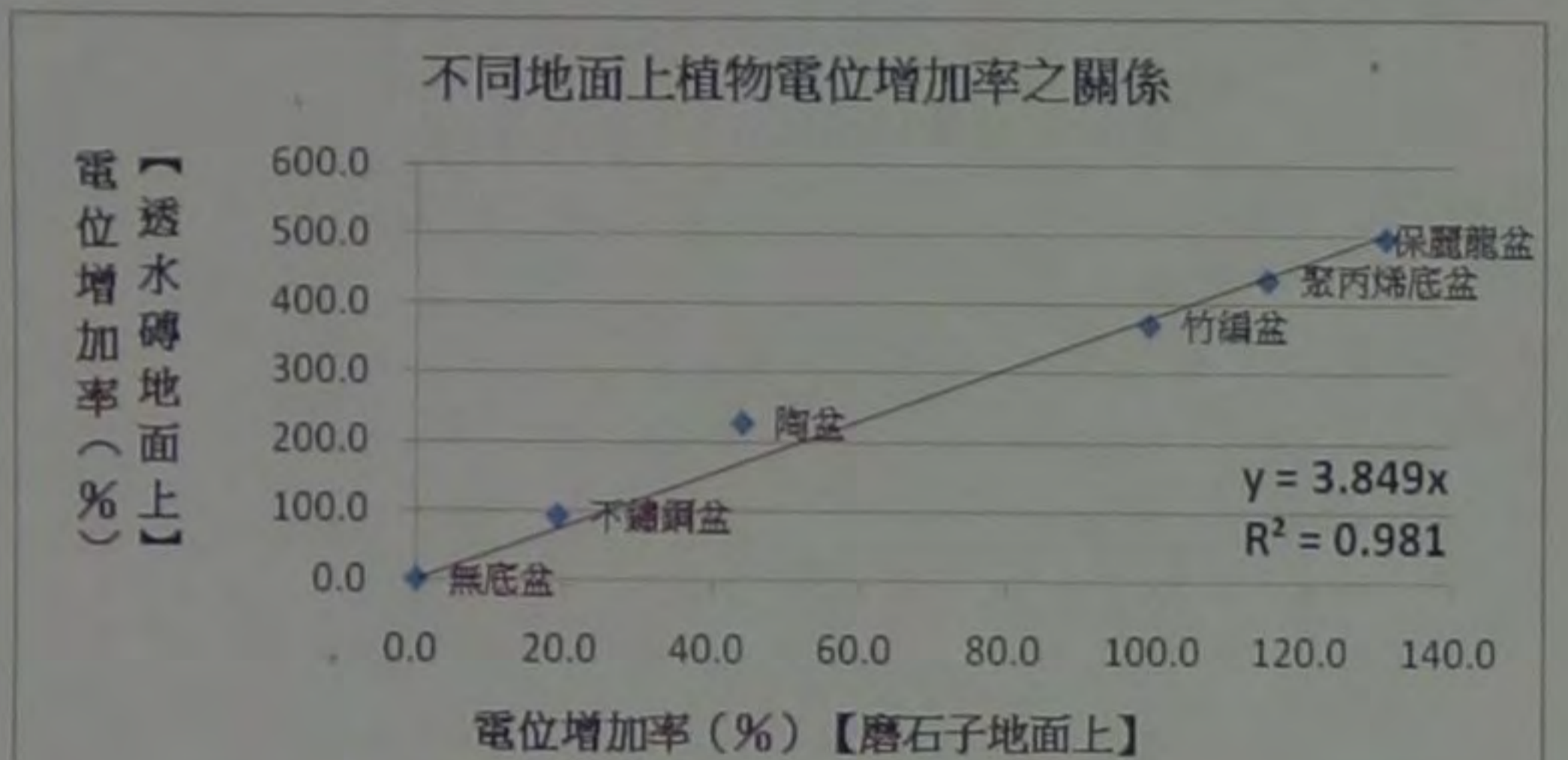
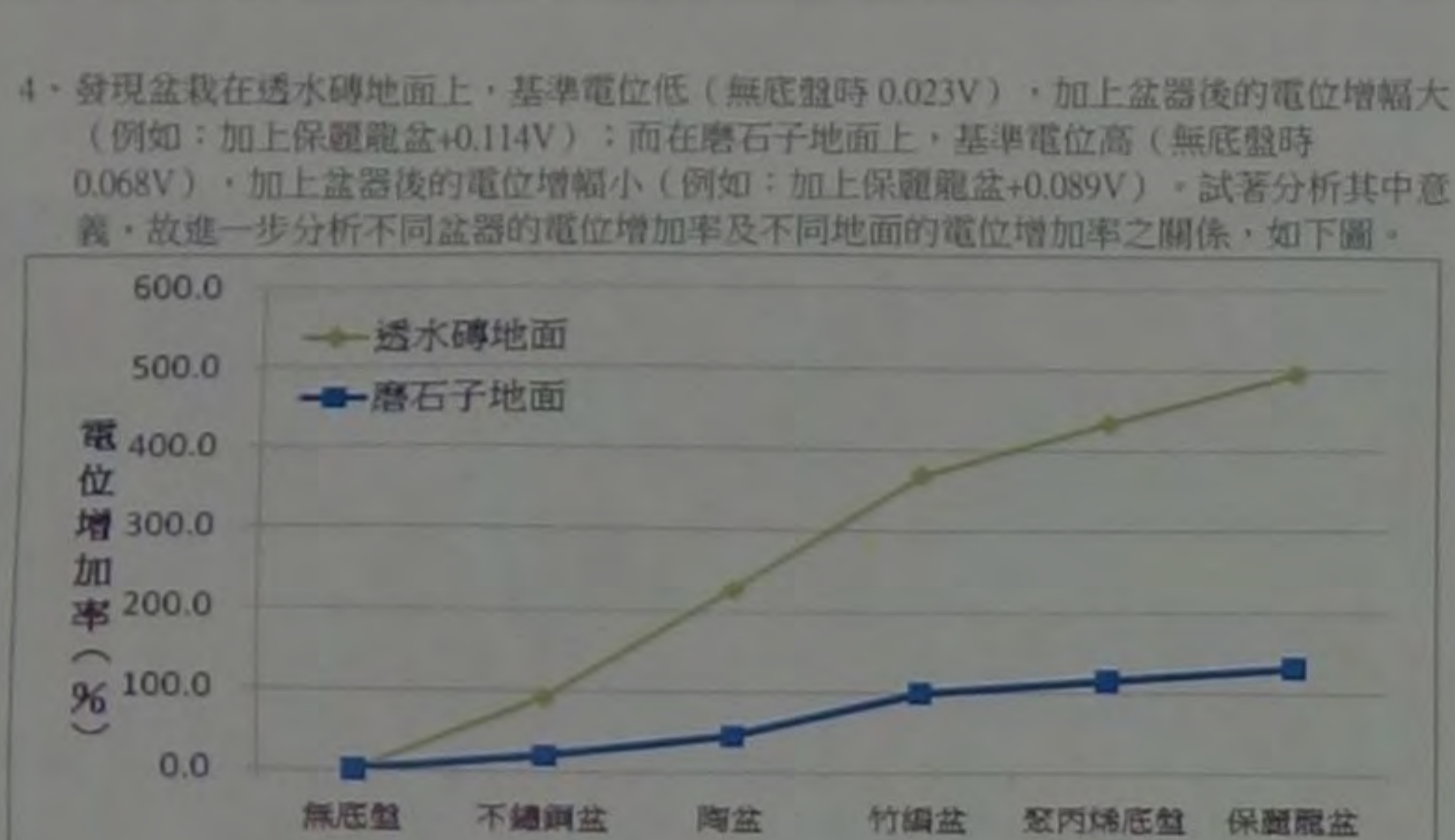
3. 思考後，發現上述分析有兩問題。第一，電線距離很遠時，電位必為零，所以線性分析的截距為零才行。第二，因電線 (實驗時使用輪座式延長線) 和盆栽並非實點，以及電錶探針不是夾在植株中心位置，所以電線距離很短時，測量植物與電線距離的誤差會明顯增大。

二、盆器與地面對植物電位的影響

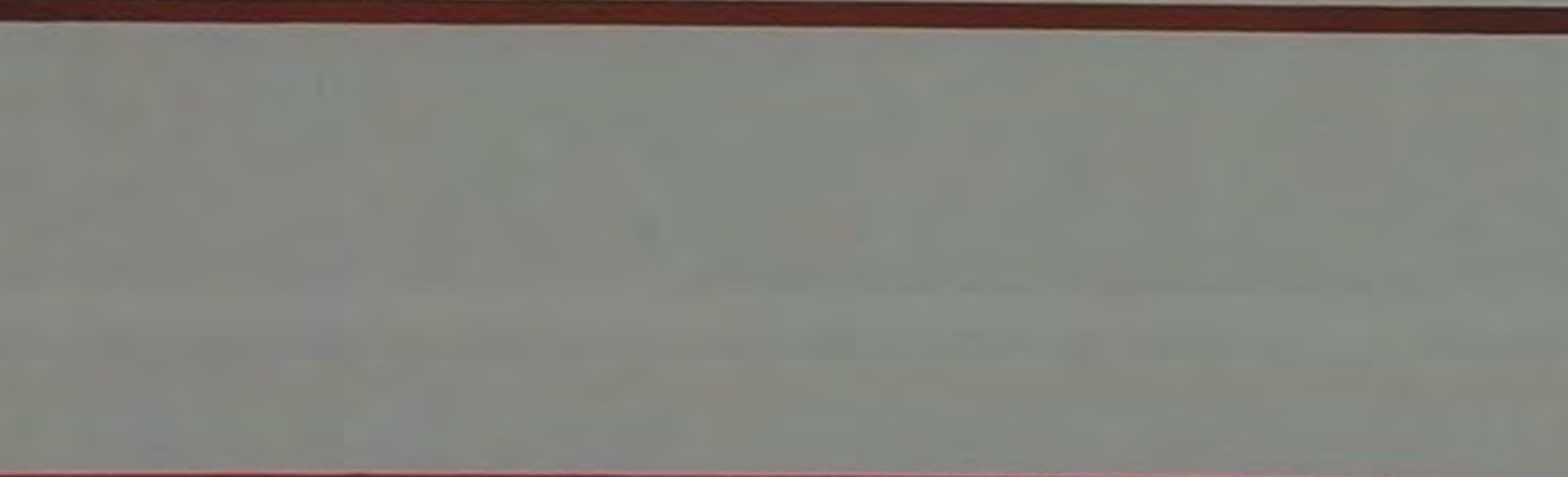


結果分析：

- 在電極影響下，將盆栽放入不同盆器後，因接地效果不同，其電位高低依序為**保麗龍盆 > 聚丙烯底盆 > 竹編盆 > 陶盆 > 不鏽鋼盆 > 無底盆**，顯示植物電位受盆器影響。
- 若要減少盆栽的生物電受干擾，可避免保麗龍盆、聚丙烯底盆等接地效果較差的盆器，而選用陶盆、金屬盆或不要放盆器。
- 不同地面也會影響植物電位，**透水磚地面的接地效果優於磨石子地面**，如下圖所示。



4. 發現盆栽在透水磚地面上，基準電位低（無底盆時 0.023V），加上盆器後的電位增幅大（例如：加上保麗龍盆+0.114V）；而在磨石子地面上，基準電位高（無底盆時 0.068V），加上盆器後的電位增幅小（例如：加上保麗龍盆+0.089V）。試著分析其中意義，故進一步分析不同盆器的電位增加率及不同地面的電位增加率之關係，如下圖。

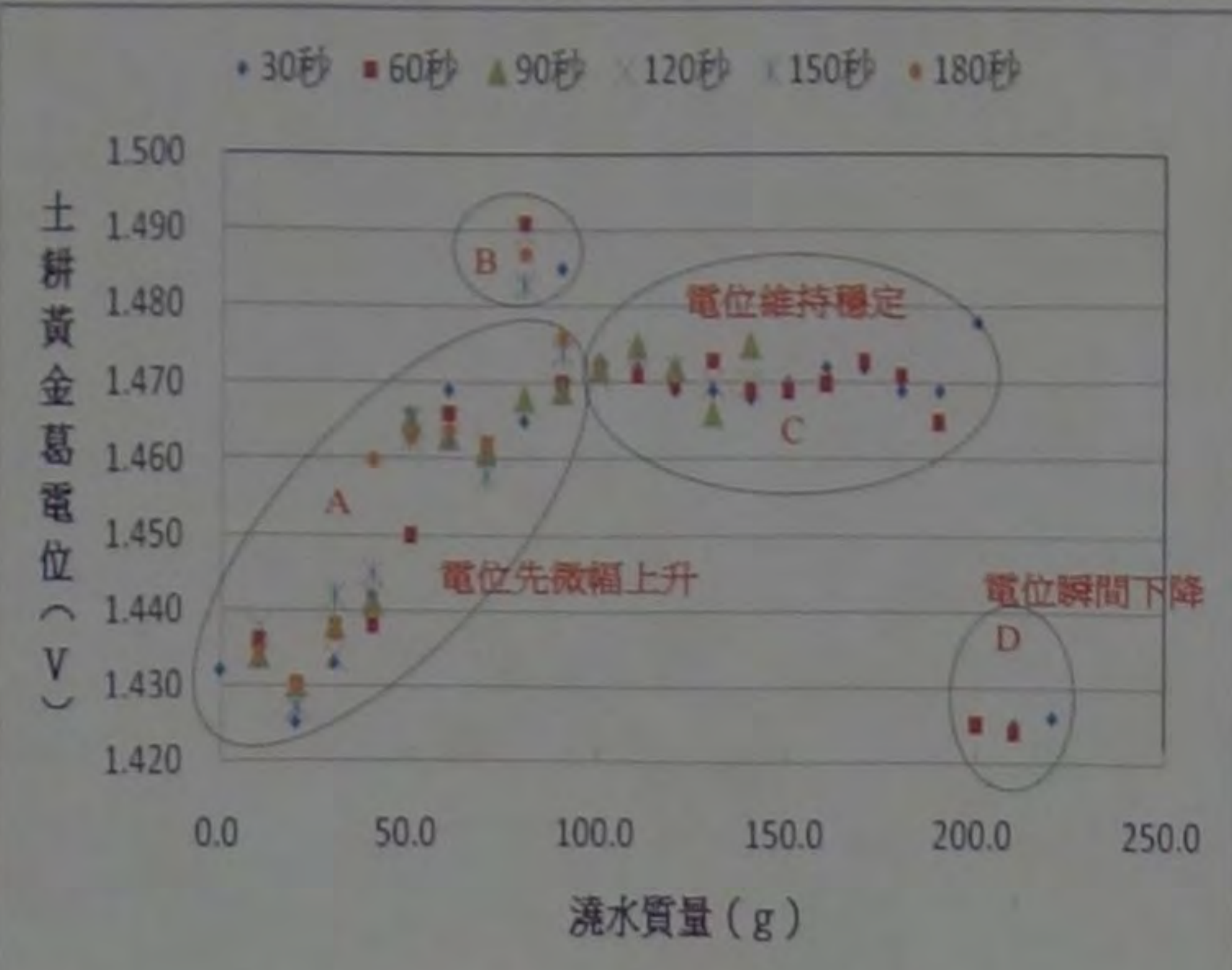


5. 從以上分析，發現不同地面間似乎存在「電位增加率關係式」，例如作圖所得的線性關係式 $Y=3.849X$ （相關係數 0.990），代表「透水磚地面電位增加率 = 磨石子地面電位增加率 $\times 3.85$ 」。假設某人在磨石子地面上，因為某因素（穿上雨鞋）使其電位增加 20%，則依照發現之關係式，可知同樣因素（穿上雨鞋）在磨石子地面上發生時，其電位將增加 $20\% \times 3.85 = 77\%$ 。不過，此推論還有待後續研究來證明是否正確？

6. 若「電位增加率關係式」存在，則可依照本研究方法，來探討草地、木質地面、磁磚地面、以及不同樓層地面等關係。之後，將草地設為基準後，是否即可「標準化」並「量化」每種地面的接地效果呢？有待後續研究。

三、水與電解質對植物電位的影響

(一) 澆水質量對土耕植物電位的影響

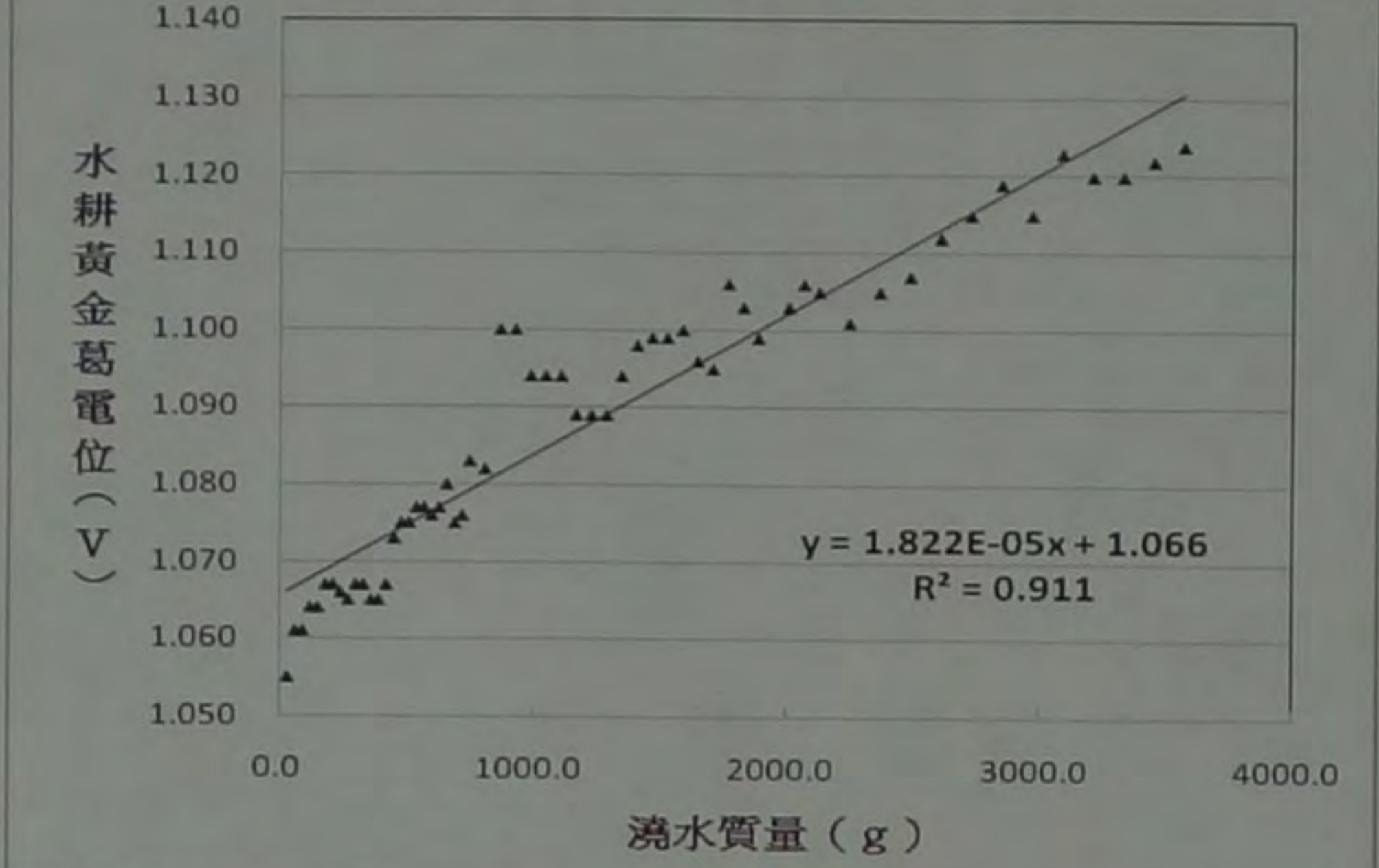


結果分析：

- 緩慢澆水至水量約 100 克之間，植物電位從 1.432V 微幅上升到 1.472V，持續澆水後，電位大致穩定，直到水量約 200 克後，電位瞬間下降至 1.425V。
- 花了近一小時，記錄近百個數據得到這個結果，感覺怪異難以解釋，將其分為四區，進行分析。
- B 區的跳躍以及其他區數據波動大，推測是乾燥的盆土及植株的吸水增添變數，以及風的影響！因此我們持續改良場地，最後爭取到空教室實驗。
- D 區電位瞬間下降時，令人感到異常，因此觀察盆栽，發現水已滲出。所以電位下降原因極有可能是水滲出改變變態盆土與盆器間的電阻。
- A 區表示水的質量會影響電位，而且是正相關，但影響幅度小，電位的增幅僅約 (1.472-1.432) / 1.432 = 2.79%，再除以 100 克水，可得每克水對植物電位的增加率為 0.0279%。
- C 區的電位維持穩定，與 A 區微升不同，究竟水量對植物電位的影響為何？為了釐清原因，排除土壤因素，改成水耕植物，進行下列 (二) 探討。



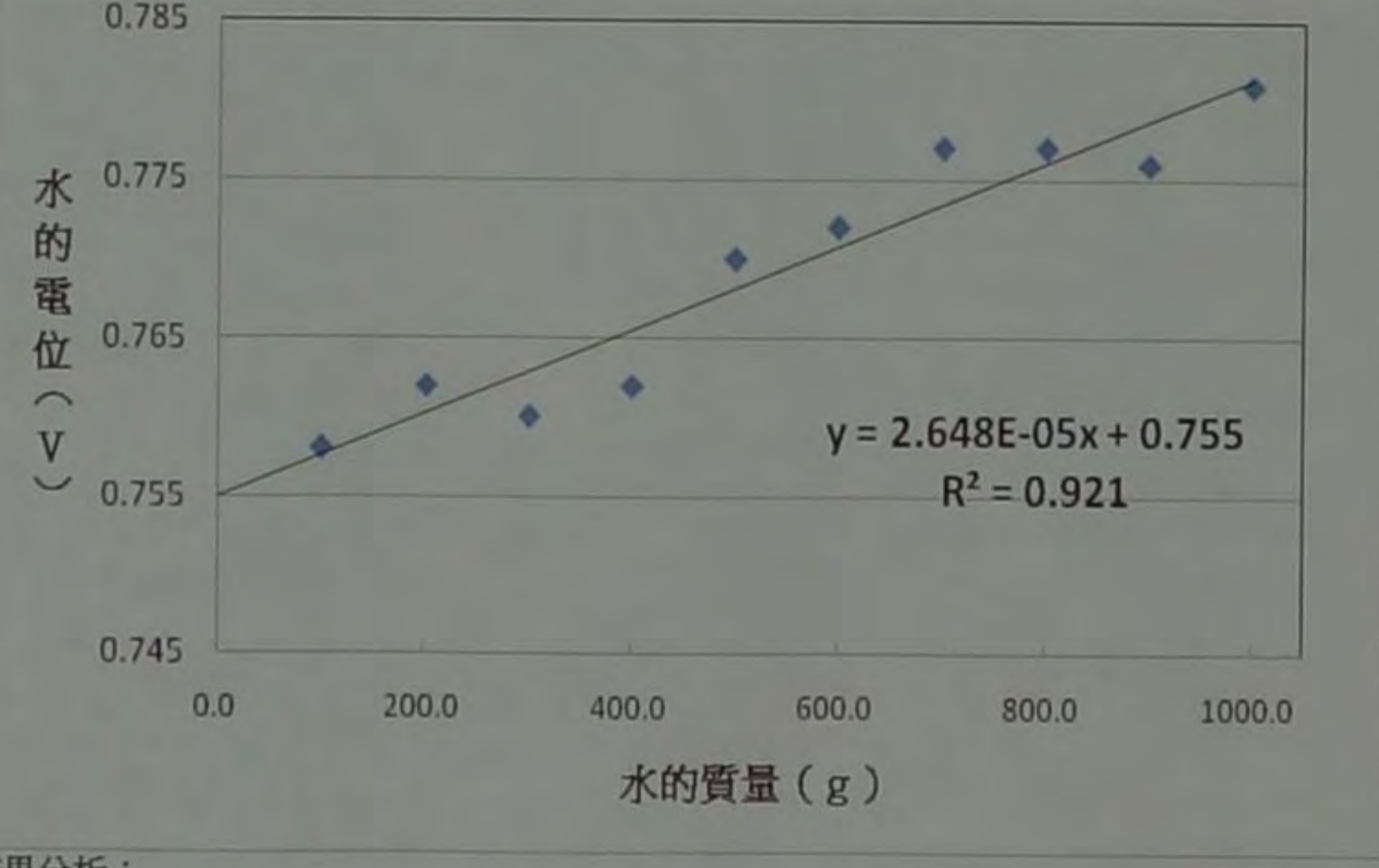
(二) 澆水質量對水耕植物電位的影響（無土壤）



結果分析：

- 相較於土耕植物有土壤吸水率、盆底滲水的因素，水耕植物顯得單純許多，發現澆水質量愈多，植物電位愈大，兩者有線性正相關（相關係數 0.954）。
- 兩者關係式為 $y = 1.822E-05x + 1.066$ ，斜率 0.0000182 代表每克水可增加的電位，再除以截距 1.066，可得每克水對植物電位的增加率為 0.0017%。
- 水量對植物電位的影響，是否與植株存在與否無關？純粹只是水受到電場的影響呢？因此，進行下列 (三) 探討。

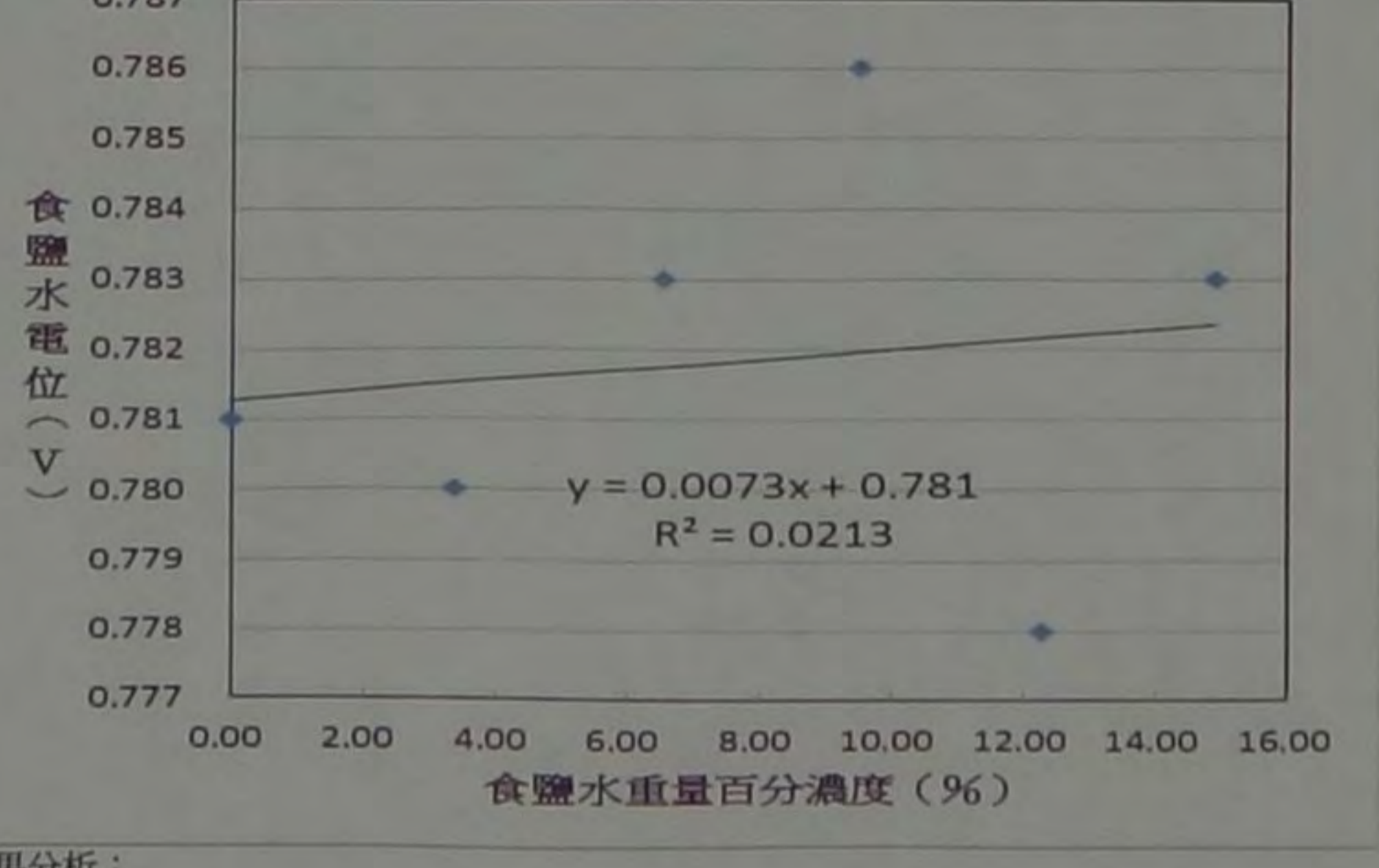
(三) 水的質量對水的電位的影響（無土壤、無植株）



結果分析：

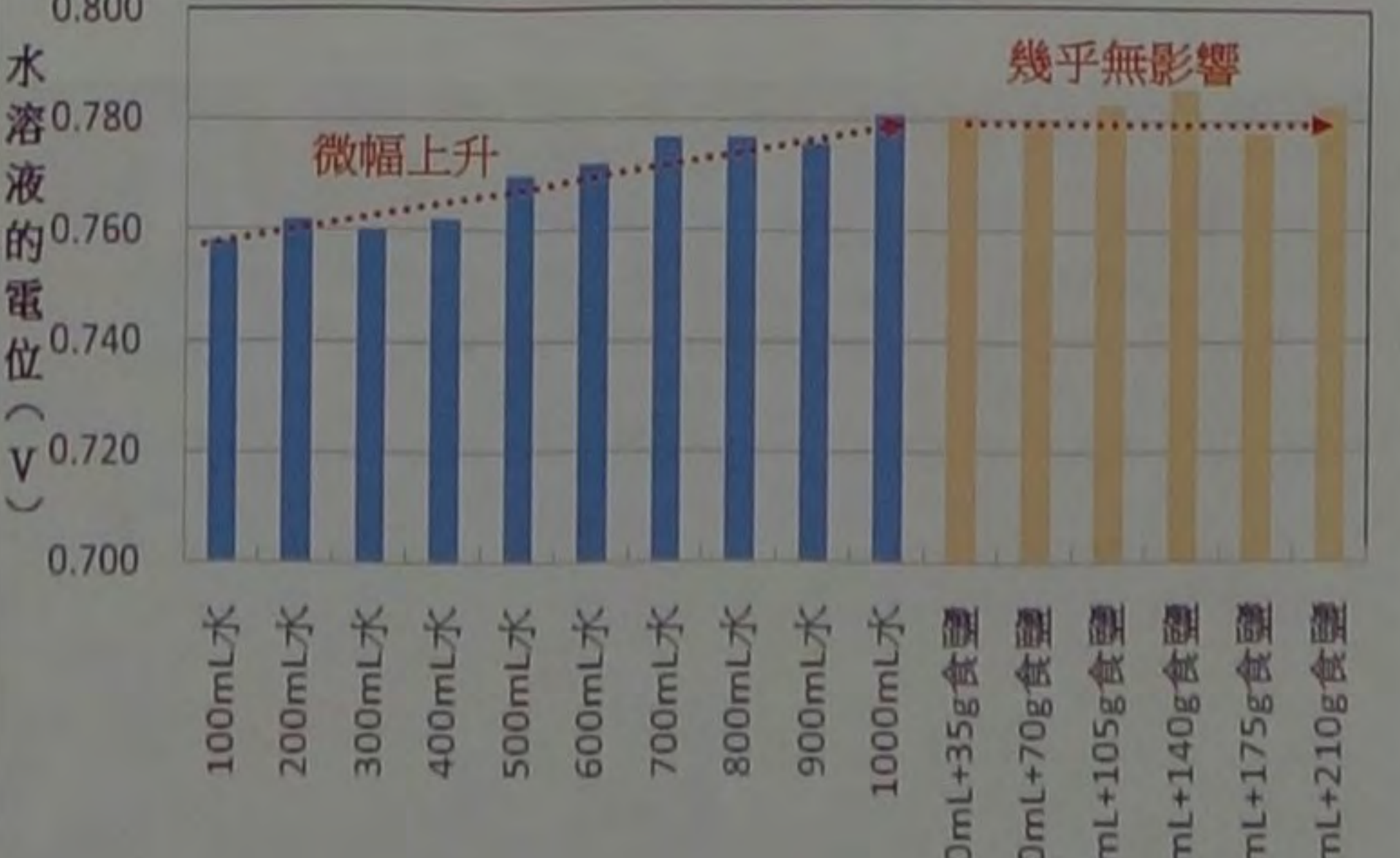
- 進一步排除植株的因素後，直接觀察水的質量對水的電位的影響，發現水質量愈多，水的電位愈大，兩者有線性正相關（相關係數 0.960）。
- 兩者關係式為 $y = 2.648E-05x + 0.755$ ，將斜率除以截距，可得每克水對水的電位的增加率為 0.0035%，比水耕植物加水 (0.0017%) 高，比土耕植物加水 (0.0279%) 低。此差異表示除了水的質量外，仍有植株、土壤以及其他未考慮到的因素在影響電位。是什麼因素呢？有待後續研究。
- 研究至此發現水對電位雖有影響，但影響程度很低，是否與缺少電解質有關呢？進行下列 (四) 探討。

(四) 食鹽水濃度對水溶液電位的影響



結果分析：

- 植物體內充滿電解質，且電解質水溶液中的離子能增加導電性，但結果卻顯示食鹽水的濃度與電位無關（相關係數 0.021，近乎 0）。
- 將 (三)、(四) 的結果歸納呈現如下圖，水溶液電位與水的質量有關（影響程度很低，每克水對電位的增加率為 0.0035%，加水 1 公升，電位增加約 3.5%），與電解質濃度無關。

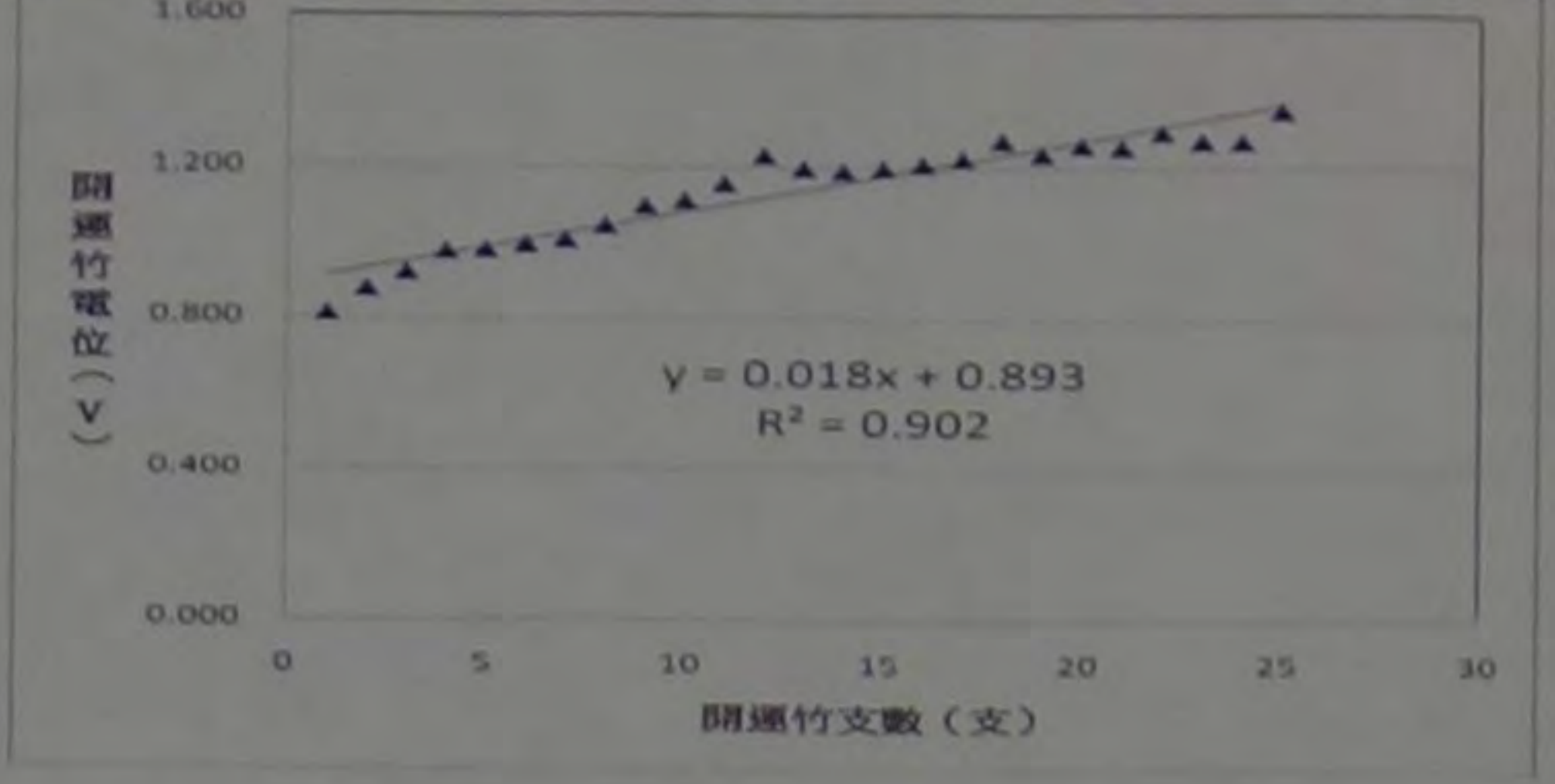


3. 電解質濃度的實驗結果有些出乎意料，因食鹽水的介電常數 ($\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$) 及導電率都與溫度有關，因此可能需要修改實驗設計，再做確認，有待後續研究。

4. 暫依實驗結果，假定水與電解質濃度對植物電位的影響有限，下列進一步探討植株本身對植物電位有何影響？

四、植株本身對植物電位的影響

(一) 合攏植株對植物電位的影響（高度不變、質量改變）

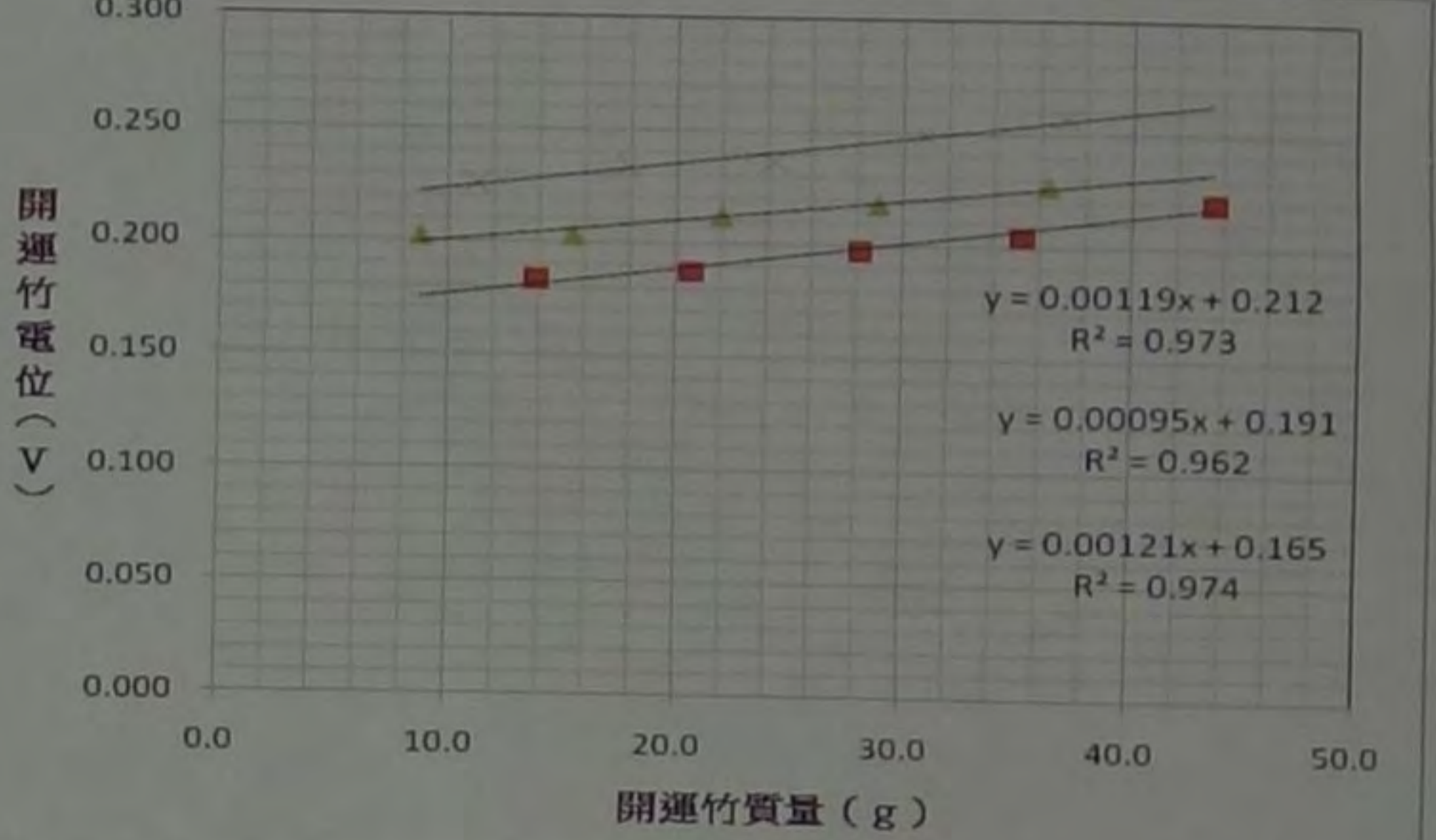


結果分析：

- 將開運竹一支一支合攏在一起，測量其電位變化，結果如上圖。因開運竹每支的質量都很接近，因此以支數或累計質量作圖分析，結果幾乎相同。
- 開運竹累計質量愈大，開運竹電位愈高，兩者有線性正相關（相關係數 0.956），顯示植株的整體總質量會影響其電位。
- 兩者關係式為 $y = 0.00037x + 0.883$ ，將斜率除以截距，可得每克植株對植物電位的增加率為 0.042%，比【水與電解質對植物電位的影響】的各實驗結果 (0.0035%、0.0017%、0.0279%) 都來得高，且可高達約 25 倍，是植株的什麼特性造成與水的不同（實驗結果已顯示電解質濃度不影響電位）？原因有待後續研究。

(二) 截短植株對植物電位的影響（高度、質量皆改變）

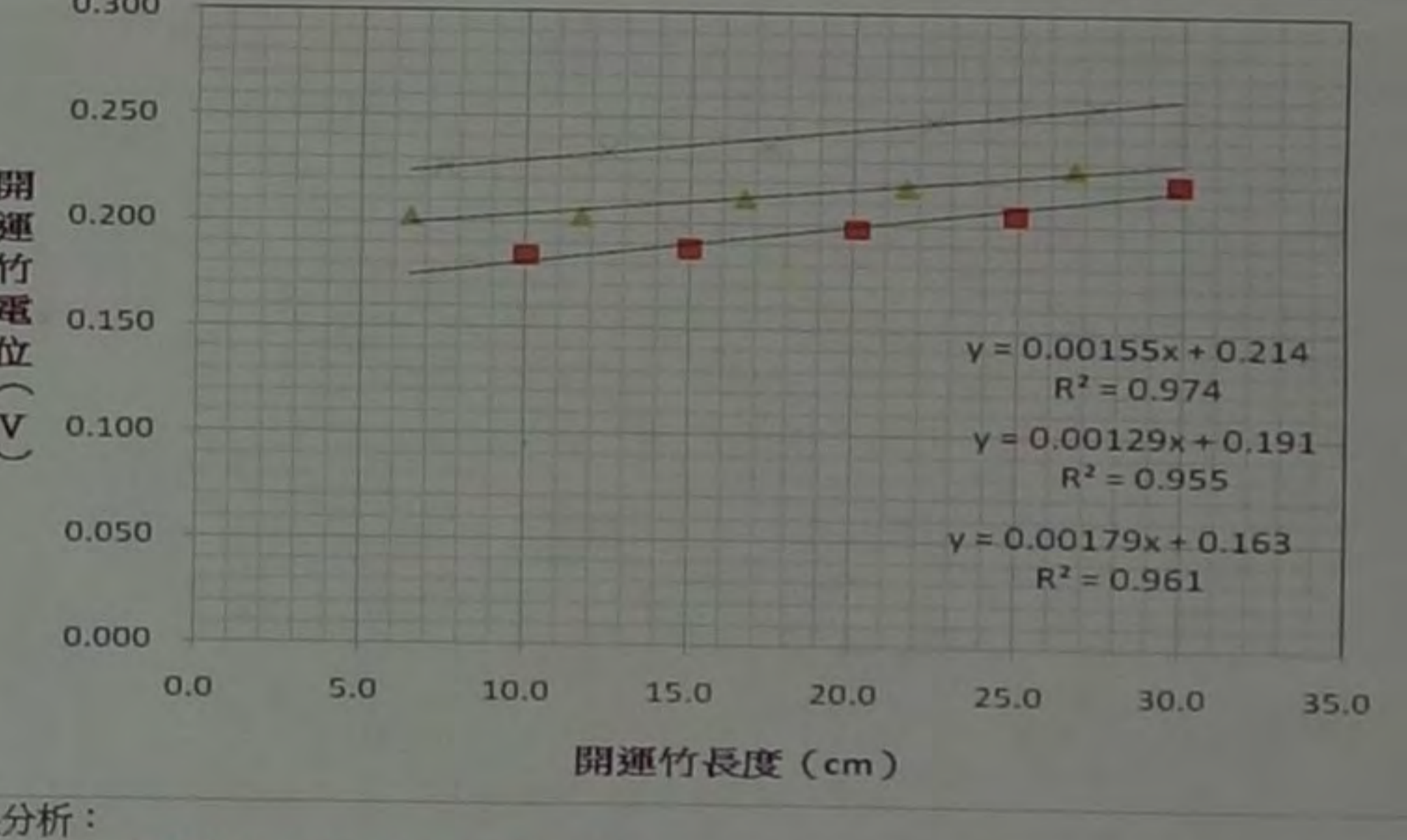
1. 截短植株時，植株質量對植物電位的影響



結果分析：

- 不斷截短開運竹，發現開運竹質量愈小，植物電位也愈小，兩者有線性正相關（相關係數 0.981 ~ 0.987），與 (一) 的結果相符。
- 將兩者關係式的斜率除以截距，可得每克植株對植物電位的增加率分別為 0.561%、0.497%、0.733%，比合攏開運竹的 0.042% 竟又高約 10 倍以上。
- 同樣是開運竹，每克植株對植物電位的增加率為何有如此差異？是否質量不是影響關鍵，植株長度才是呢？再測量開運竹長度，作圖分析如下。

2. 截短植株時，植株長度對植物電位的影響



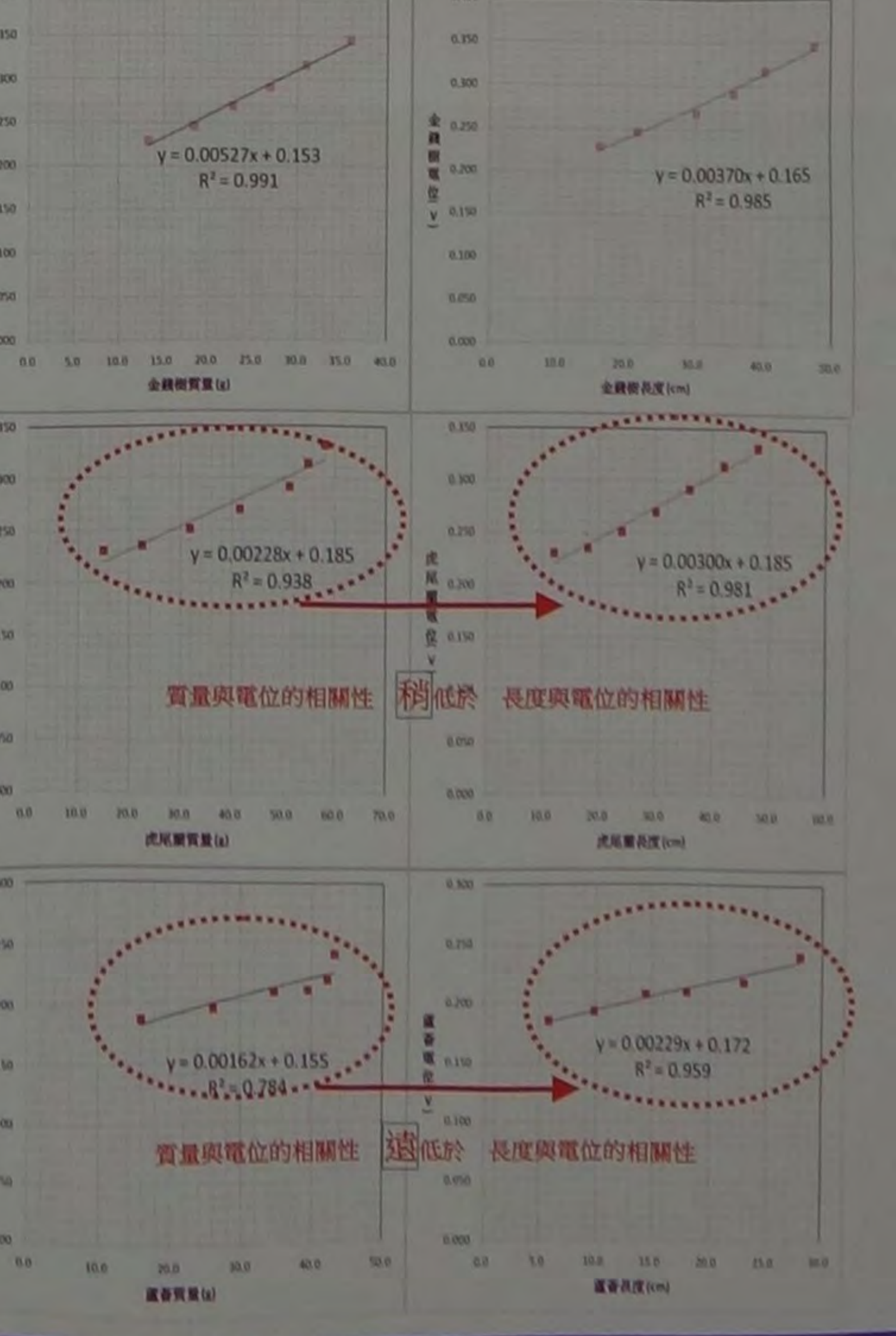
結果分析：

- 結果顯示開運竹長度愈小，植物電位也愈小，兩者同樣有線性正相關（相關係數 0.977 ~ 0.987）。
- 無法判斷是質量還是長度才是影響關鍵？故選取金錢樹、虎尾蘭、蘆薈等植株再探究，結果如下。

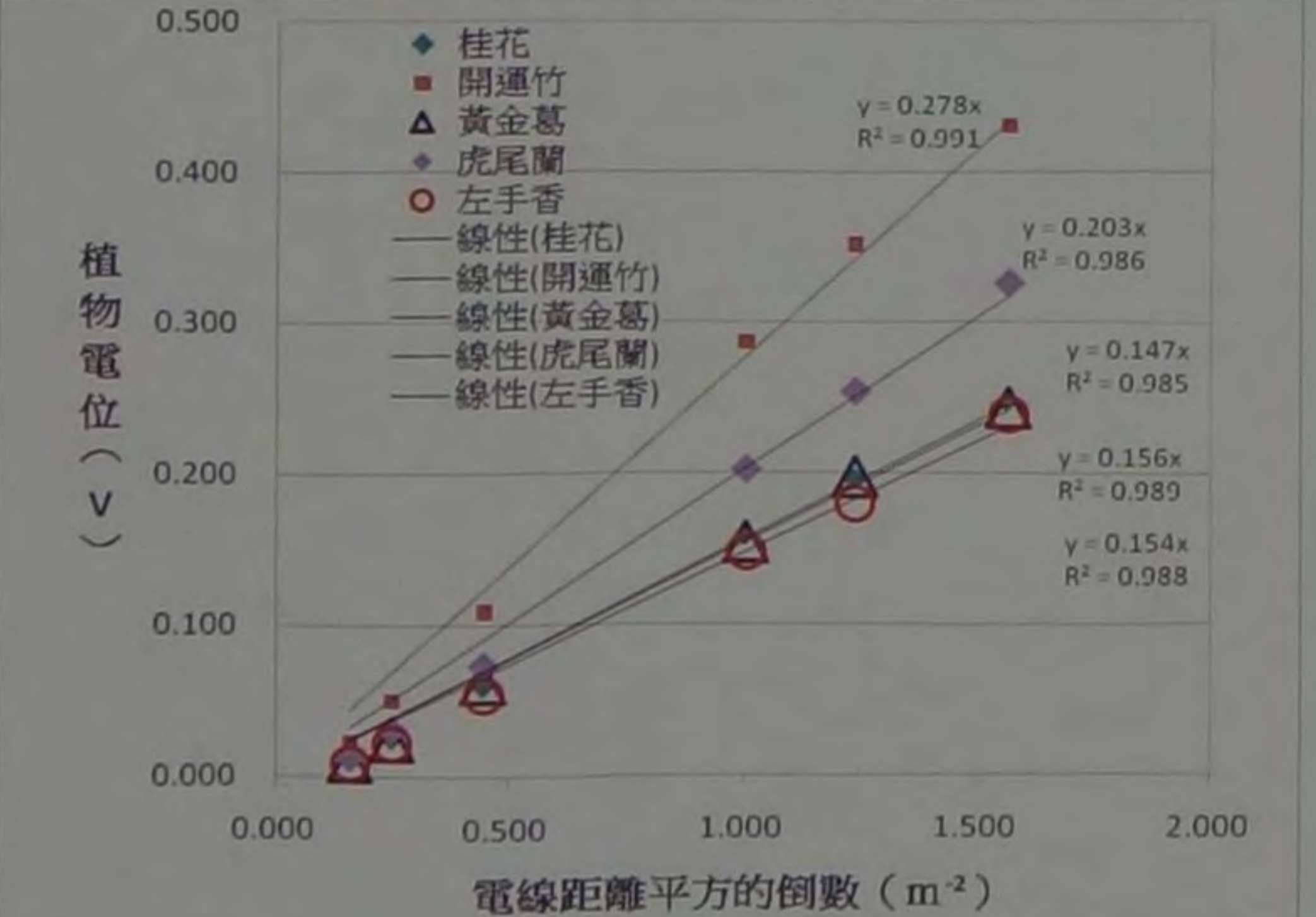
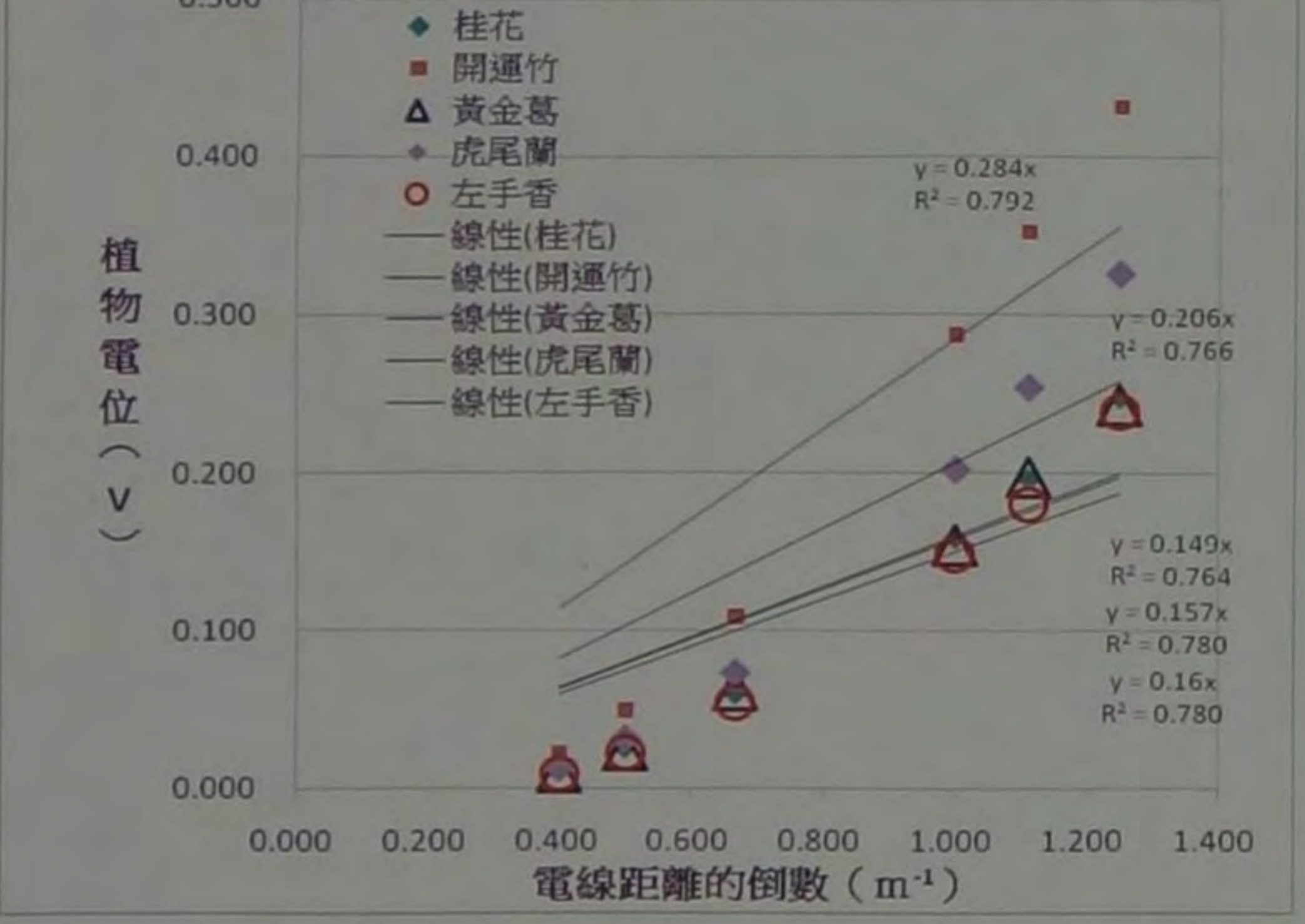
3. 判別影響植物電位的關鍵因素（質量？長度？）



圖說：選用型態不同的植株做實驗，以判別影響植物電位的關鍵因素是質量或是長度？



4. 因此，修正截距，並將距離小於 0.8m 的數據視為誤差而捨去，重新分析如圖。

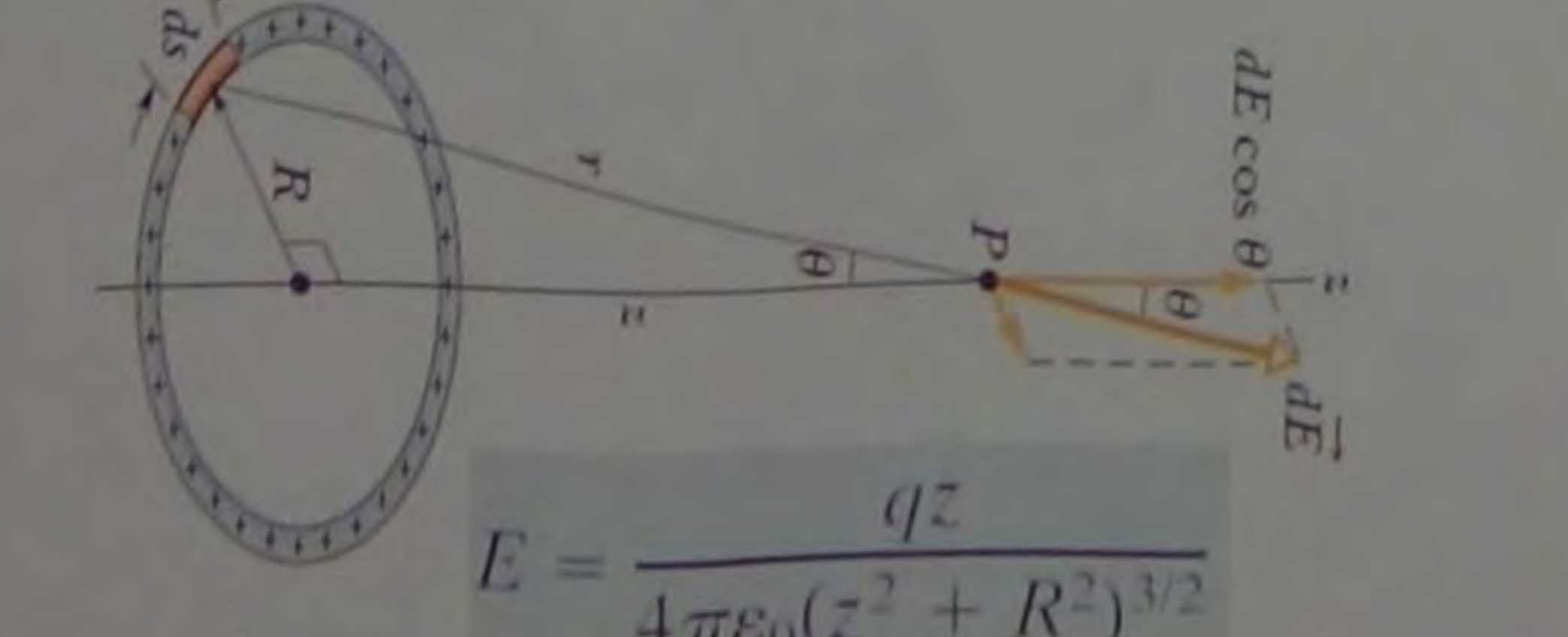


5. 可得距離較遠時，植物電位與距離電線距離平方成反比（相關係數為 0.994），而不是與距離成反比（相關係數為 0.881）。

電位與	植物種類	桂花	開運竹	黃金葛	虎尾蘭	左手香	平均
【距離倒數】	相關係數(r)	0.890	0.875	0.874	0.883	0.883	0.881
線性分析	決定係數(R^2)	0.792	0.766	0.764	0.780	0.780	0.776

電位與	植物種類	桂花	開運竹	黃金葛	虎尾蘭	左手香	平均
【距離^2倒數】	相關係數(r)	0.994	0.995	0.994	0.993	0.992	0.994
線性分析	決定係數(R^2)	0.989	0.991	0.988	0.986	0.985	0.988

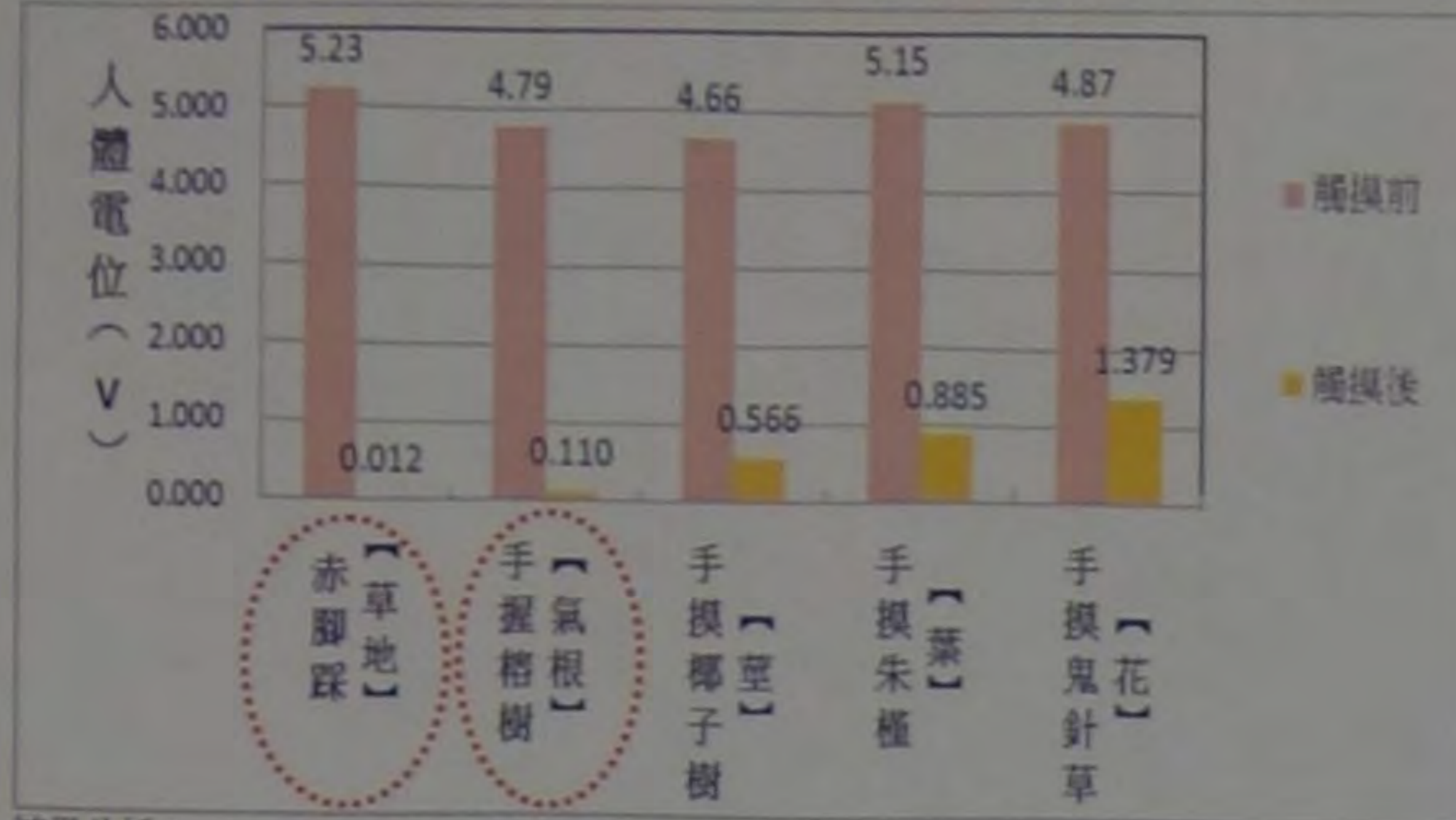
6. 本研究使用輪座式電線，而環狀電荷形成的電場在距離較遠時，才與距離平方 (r^2) 成反比，可用來解釋本研究結果。



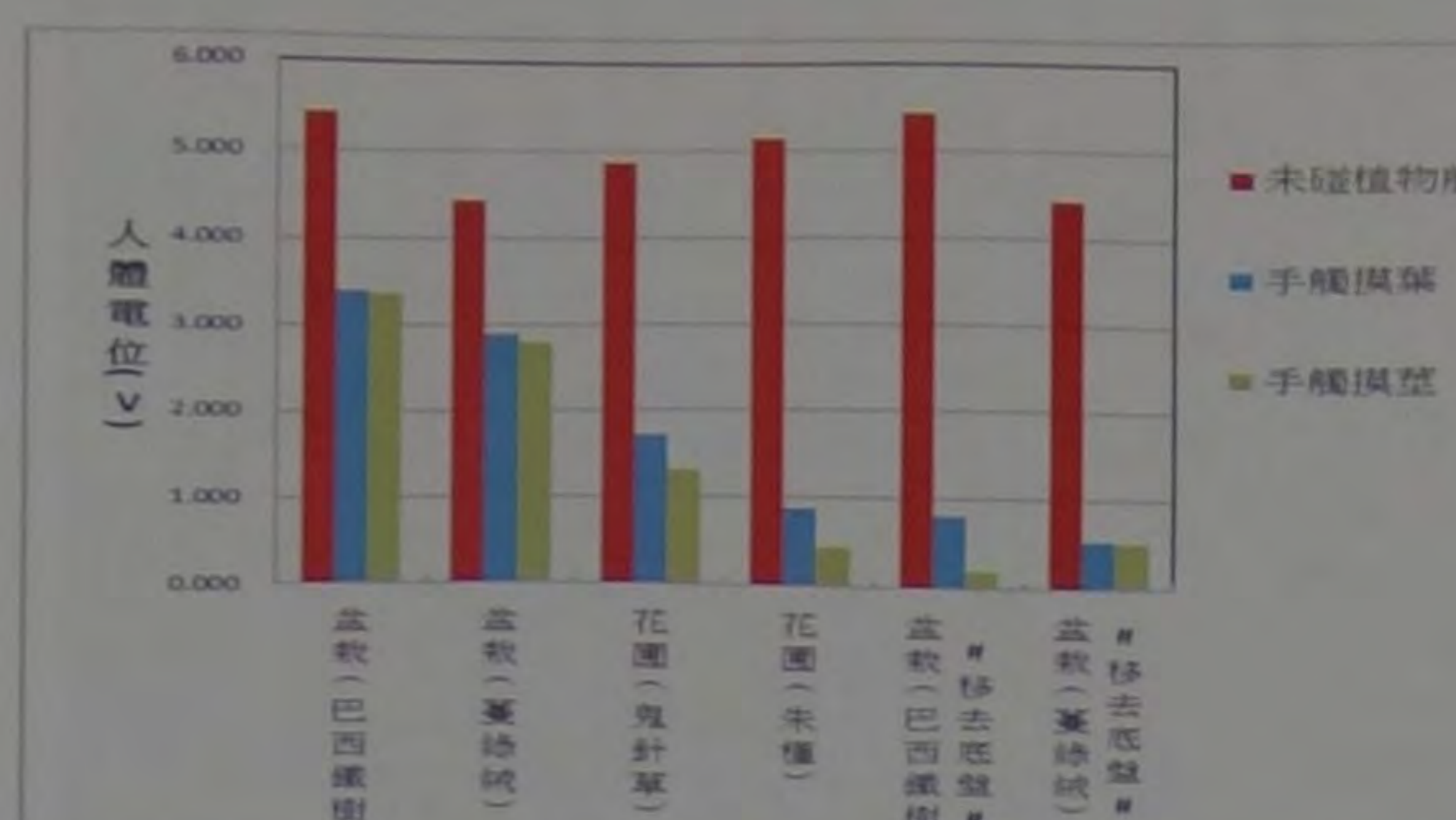
取自：普通物理 ch22 電場
http://moodle.ncku.edu.tw/pluginfile.php/1027585/mod_resource/content/1/ch22_Electric%20field_r.pdf

五、觸摸植物對人體電位的影響

(一)人體觸摸植物前後，人體電位的變化情形



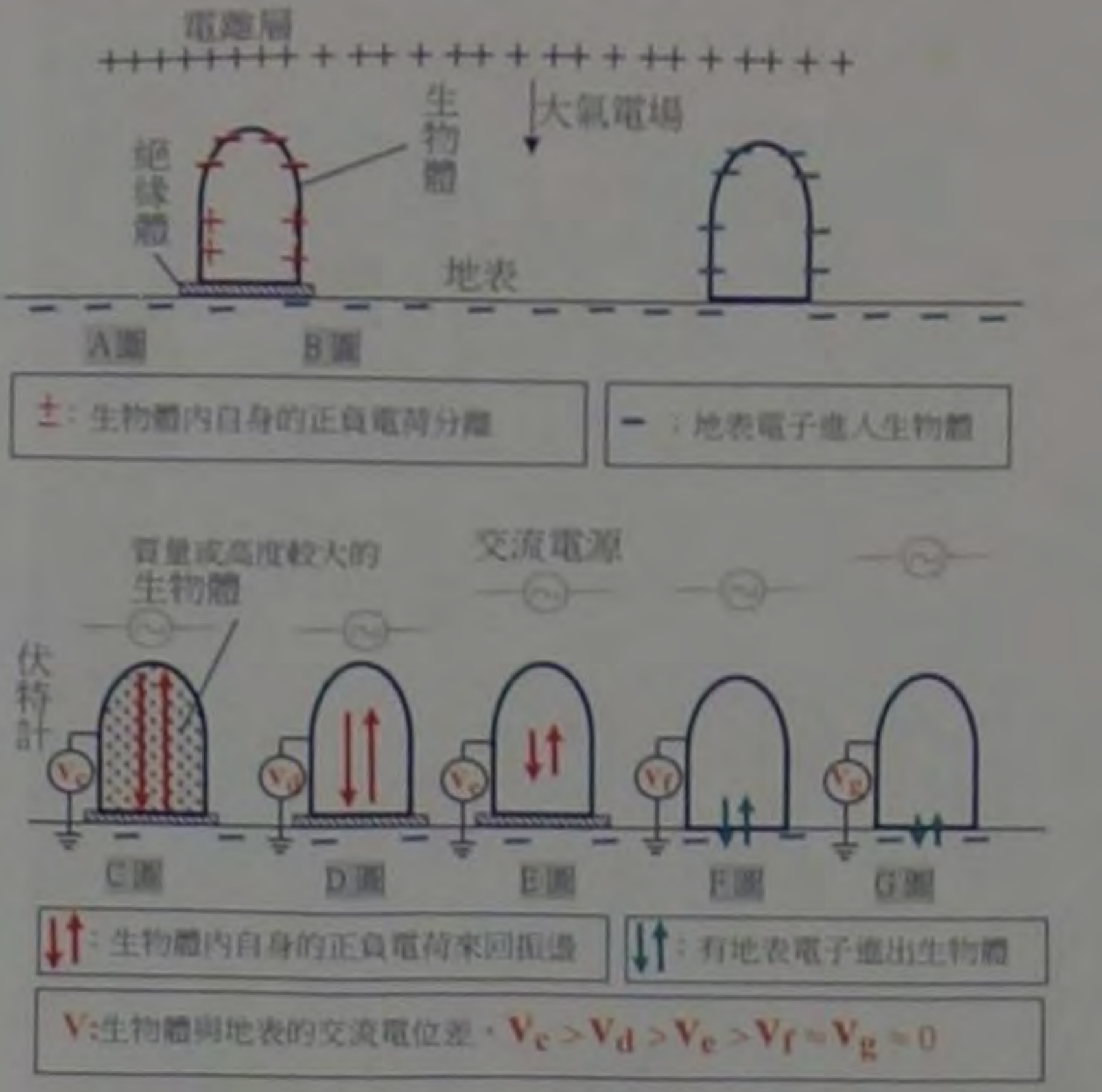
結果分析：
 1. 在實驗設計下，人體電位在觸摸植物前約為 5V，觸摸植物後，電位普遍下降，顯示觸摸植物有接地效果。其中赤腳踩草地效果最佳，手摸榕樹氣根效果次佳。
 2. 現今多數人幾乎整天都穿著鞋子，而用手觸摸植物時，莖和葉是最容易觸摸的部位，故限定研究範圍，只觸摸莖葉再作實驗，結果如右圖。



3. 觸摸植物後，人體電位皆下降，但因影響因素多，故下降幅度不等，下列(二)及(四)分別以人體電位百分率來分析觸摸莖葉或花園，及觸摸植物莖或葉，對降低人體電位有何影響？

柒、討論

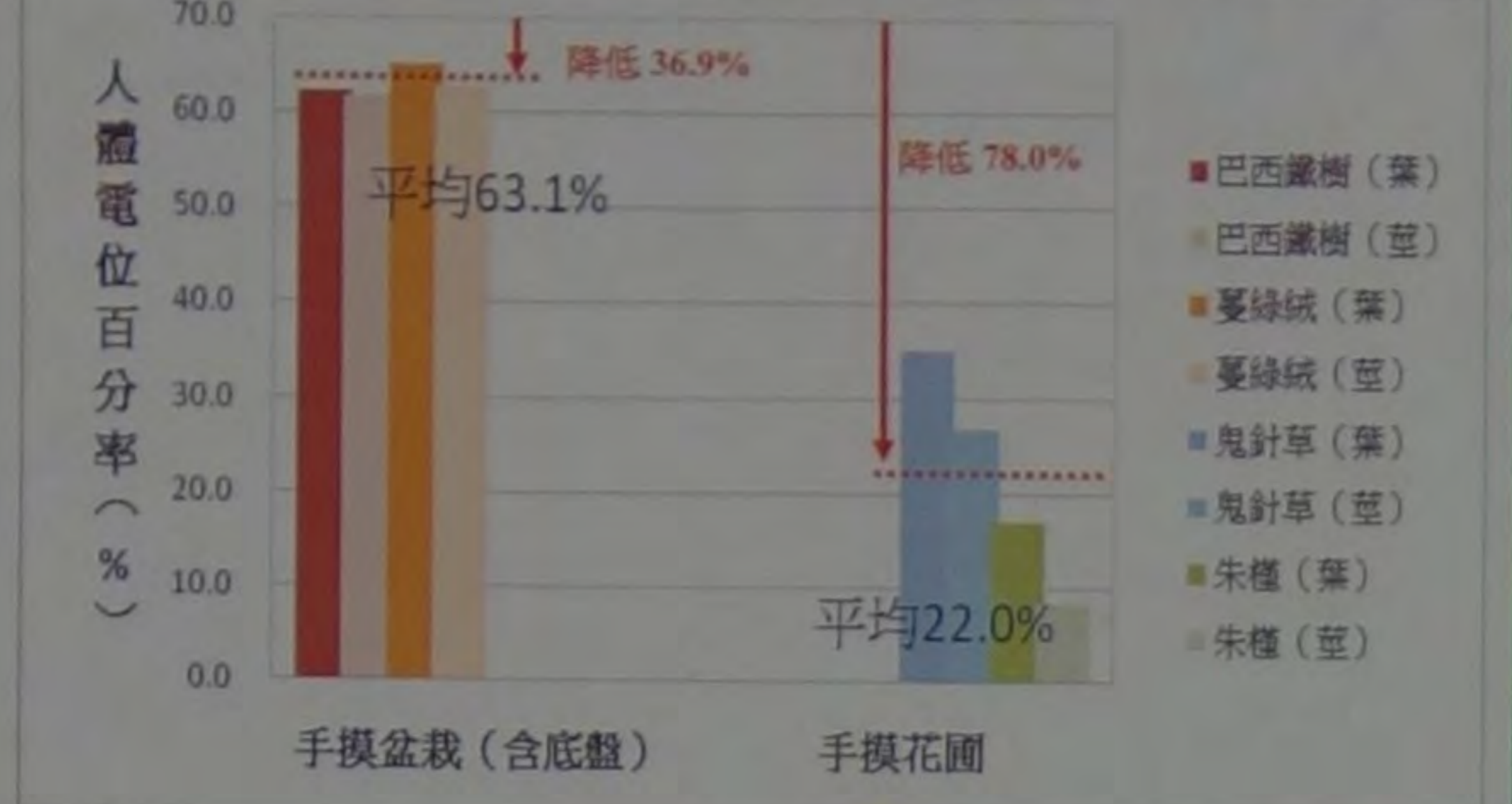
綜合以上研究，我們試著將結果、原理及推論整理如下圖。生物體接地後與大地等電位，在大氣電場下，有地表電子進入生物體(B圖)；在交流電場下，有地表電子進入生物體(F、G圖)。反之，生物體未接地，無法接觸地表電子，因此在大氣電場或交流電場下，將使生物體內自身的正負電荷分離(A圖)或來回振盪(C-E圖)，可能使體內電場失衡。加上過程中，生物體與土壤衣物摩擦，受風吹而失去電子，長期下來將累積正電，持續氧化，推測可能較不利健康與生長。



捌、結論

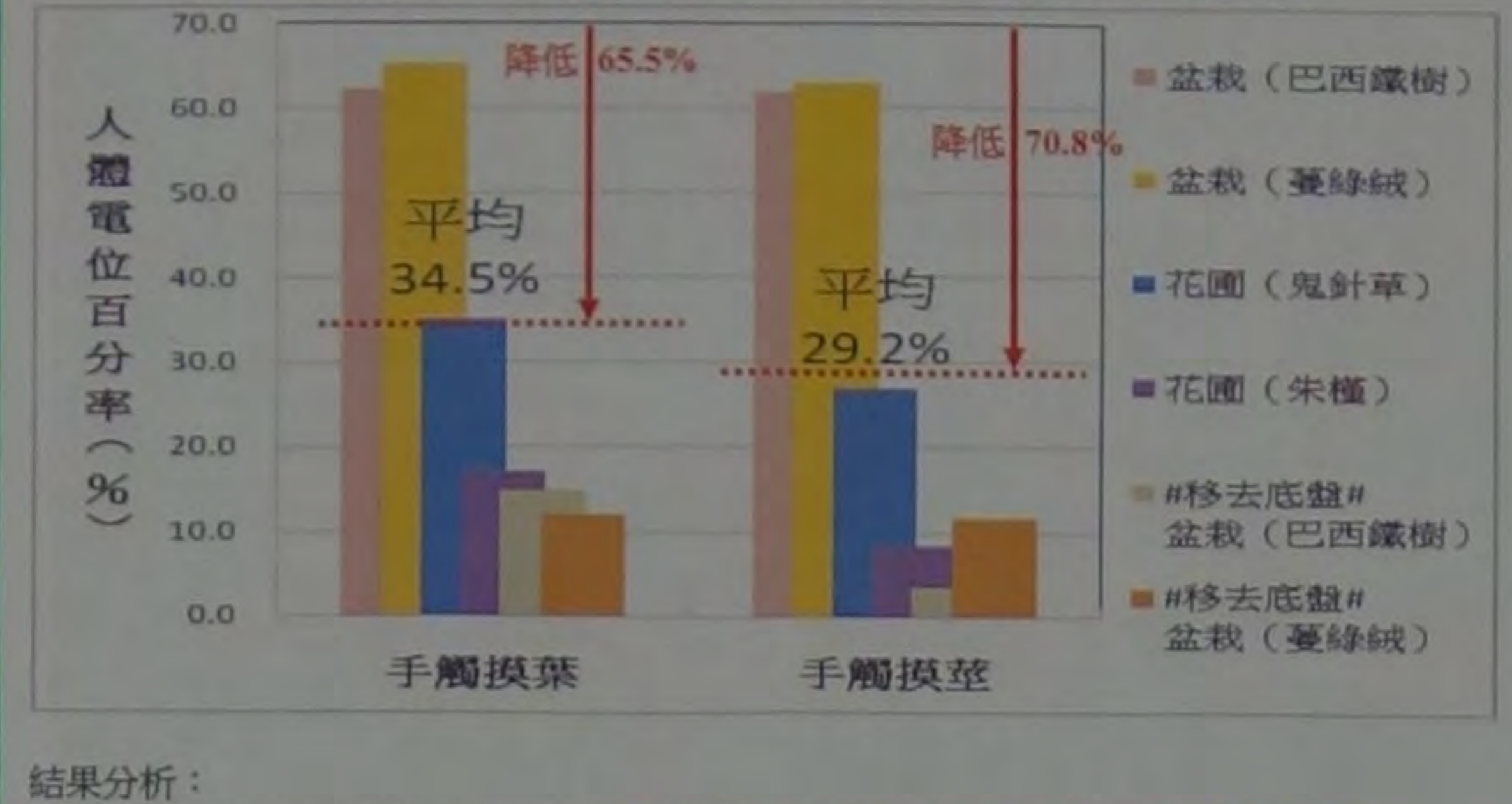
- 盆栽在室外時，植物電位幾乎為零，代表與地表電位相同。從室外進入室內，植物電位微幅上升，若靠近電器，則大幅上升，顯示盆栽會受到家用交流電的影響。
- 種植在大地的植物，如大王椰子樹，其電位完全不受電線距離的影響，可能植物接地後，對低頻電場有屏蔽的效果。
- 距離較遠時，植物電位與纏繞電線的距離平方成反比(相關係數為 0.994) 而不是與距離成反比(相關係數為 0.881)。
- 對植物澆水，水的質量愈大，植物的電位就愈高。將電位與水量關係圖所得關係式的斜率除以截距，可得每克水對電位的增加率。實驗結果為 0.0035% (無植株單純加水)、0.0017% (水耕植物加水)、0.0279% (土耕植物加水)。顯示水對電位雖有影響，但影響程度很低。
- 植物體內充滿電解質，且電解質水溶液中的離子能增加導電性，但結果卻顯示食鹽水的濃度大小(0~15%)與電位無關(相關係數 0.021, 近乎 0)，有待後續研究。
- 合攏植株時(植株整體高度不變)，累計質量增加，植物電位就愈高，兩者有線性正相關(相關係數 0.956)。且每克植株對植物電位的增加率(0.042%)，比每克水對電位的增加率要高許多。
- 截短植株，植株高度減少，質量減少，植物電位也隨之降低。仔細比較後，發現植物電位與植株高度的相關性更高於植物電位與植株質量的相關性，代表植株長度才是影響植物電位的關鍵因素之一，植株類似具有天線效應。
- 將盆栽放入不同盆器後，因接地效果不同，其電位高低依序為保麗龍盆>聚丙稀底盤>竹編盆>陶盆>不鏽鋼盆>無底盤，顯示植物電位受盆器影響。
- 若要減少盆栽的生物電受干擾，可避免使用保麗龍盆、聚丙稀底盤等接地效果較差的盆器，而可選用陶盆、金屬盆或不要放底盤。
- 不同地面也會影響植物電位，透水磚地面的接地效果優於磨石子地面。
- 發現不同地面間似乎存在著「電位增加率關係式」，如「透水磚地面電位增加率=磨石子地面電位增加率×3.85」(相關係數 0.990)，有潛力用來「標準化」並「量化」每種地面的接地效果。
- 在戶外親近大自然時，以赤腳踩草地、手摸榕樹氣根等方式來觸摸植物，有不錯的接地效果。
- 手摸花園的植株比摸盆栽更能降低人體電位。
- 一般認為接近植物可降低人體電位，但未必如此。因為若盆栽未接地，且盆栽受到附近交流電場影響而產生較高的植物電位時，反而會增加人體電位。所以，在室內，人體若要藉由觸摸盆栽來接地，以降低人體電位，該盆栽本身必須有良好的接地才行。
- 觸摸莖都比觸摸葉更能降低人體電位。觸摸莖的人體電位約為觸摸葉的 0.92 倍。
- 觸摸樹幹可降低人體電位，降低幅度為【雙手環抱(皮膚接觸)】>【單手掌】>【單手掌】>【拇指】>【雙手環抱(隔著化纖衣服)】。
- 穿著化纖衣服去擁抱樹木會嚴重影響接地效果，這如同人穿著塑膠鞋踩在草地的情況。
- 從結果來看，人體電位的下降與觸摸樹幹的接觸面積應有很大關係。下列(六)繼續深入探討。備註：為了有較佳的平整樹幹表面以避免誤差，實驗的樹種從檳榔改為大王椰子樹，並以鋁箔貼紙來定量接觸面積。
- 人體經由鋁箔貼紙觸摸樹幹的面積愈大，人體電位就愈低，在鋁箔貼紙 50-250cm² 的範圍內，兩者有線性的負相關(決定係數 R²=0.999)。原因可能是因為電阻與面積成反比，所以接觸面積愈大→電阻愈小→接地效果愈佳→人體電位愈小。
- 從文獻中得知：腳踩在同種材質上，若材質厚度愈大，人體電位就愈高，兩者有明顯的線性關係。其原因是因為電阻與長度成正比，所以材質愈厚→電阻愈大→接地效果愈差→人體電位愈大，文獻圖形如下。

(二)觸摸盆栽或花園對人體電位的影響

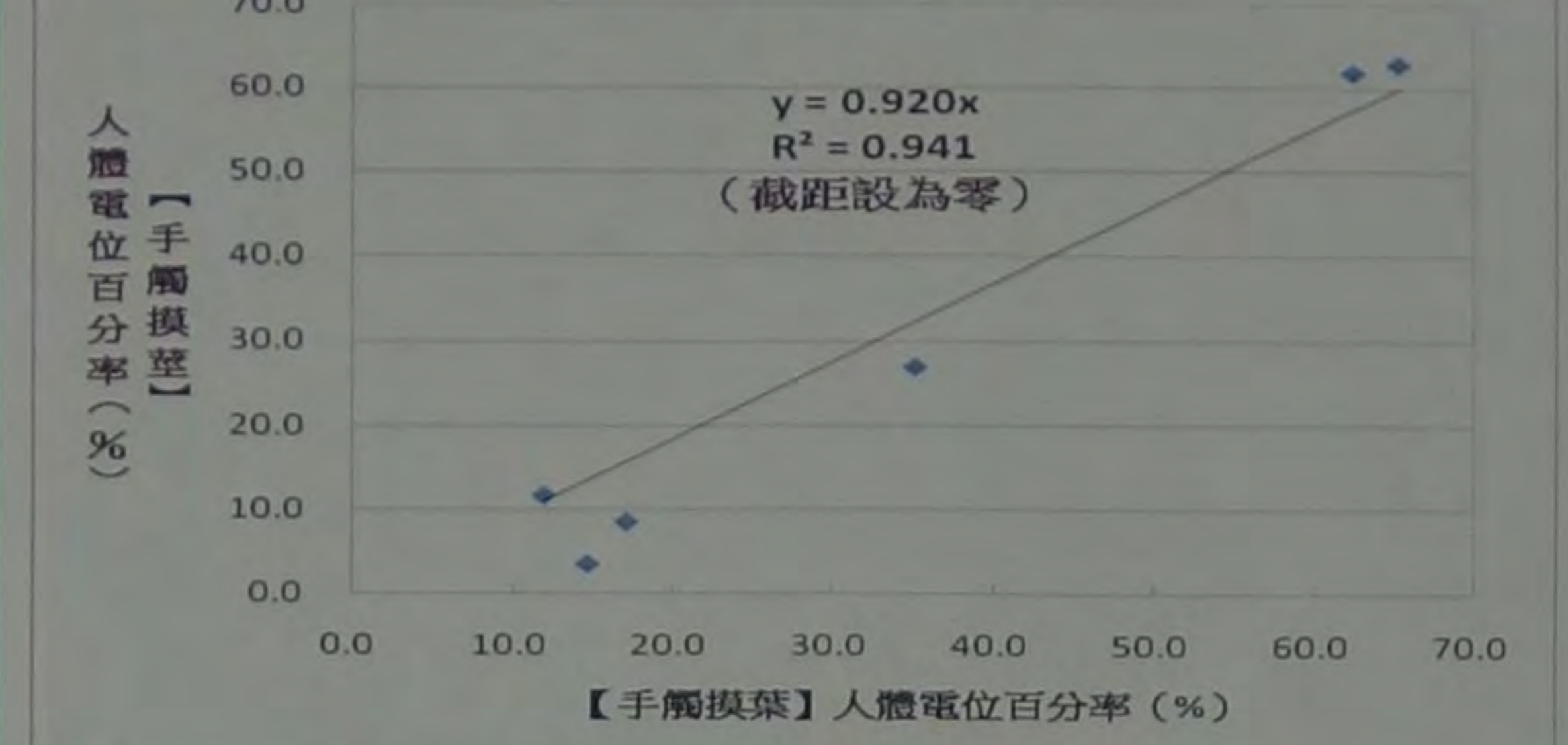


結果分析：
 1. 手摸花園的植物比摸盆栽(含有聚丙稀底盤)更能降低人體電位。以本研究條件的結果來算平均，手摸盆栽(含有聚丙稀底盤)，人體電位降為原電位的 63.1% (降低 36.9%)；手摸花園植物，則降為原電位的 22.0% (降低 78.0%)。
 2. 推測原因為花園植物與大地接觸，和地表同電位，因此人體觸摸後有較佳的接地效果。
 3. 另外，將盆栽的聚丙稀底盤移去後，若盆栽即能與地面有良好接地的話，手摸這類盆栽，則人體電位的下降幅度甚至大於觸摸花園的植物。至於如何讓盆栽有良好的接地效果？是用電線連接盆土與底盤底部？或用鋁箔貼紙連接植株與地面？或單純盆底滲水即可？有待後續研究。
 4. 本結果是模擬人體接觸電線而產生較高交流電位的情況下去觸摸植物。實際居家生活中，電線未必較接近人體，也可能較接近盆栽，此時也有相同結果嗎？下列(三)進行探討。

(四)觸摸植物的莖或葉對人體電位的影響

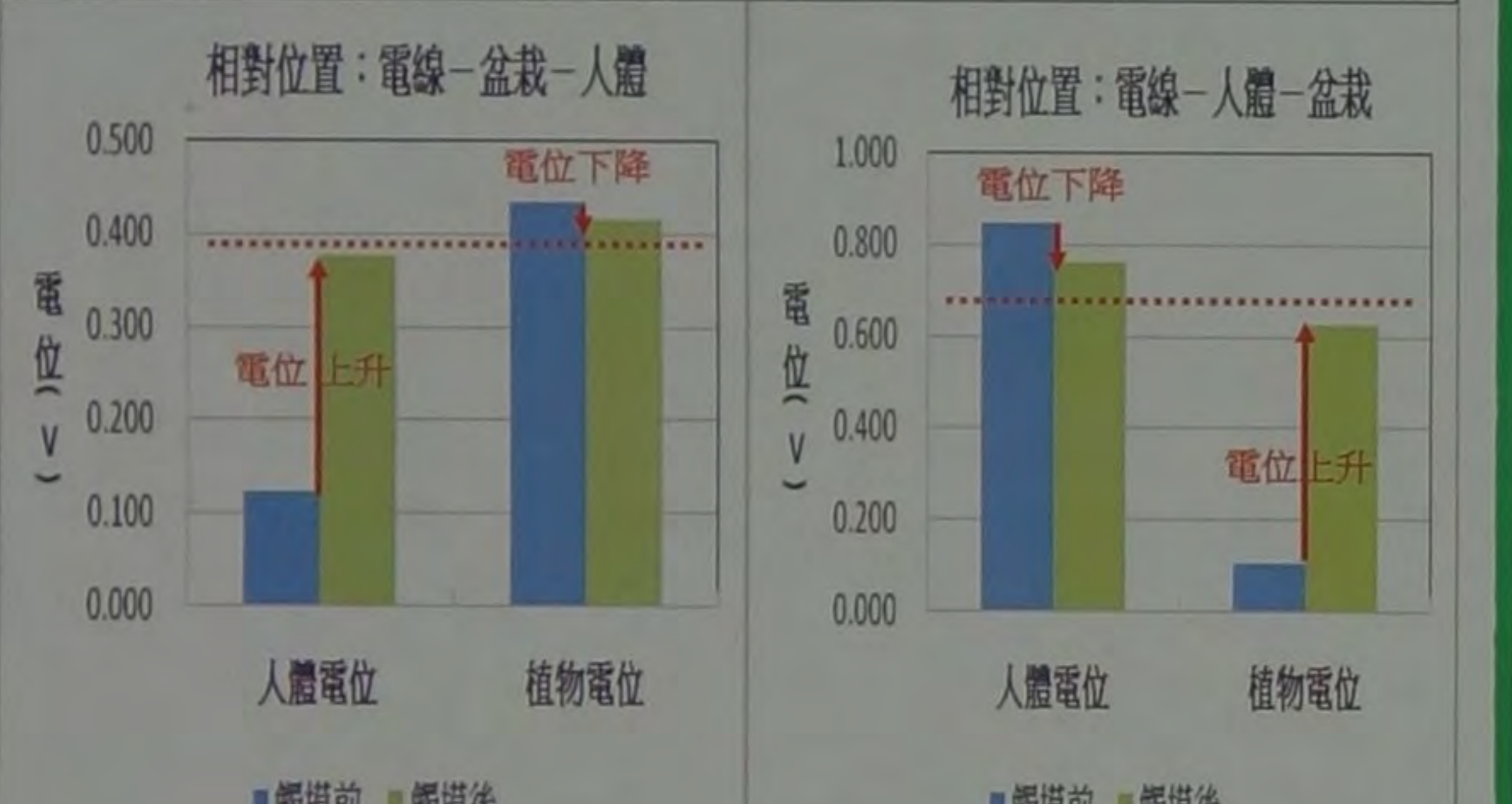
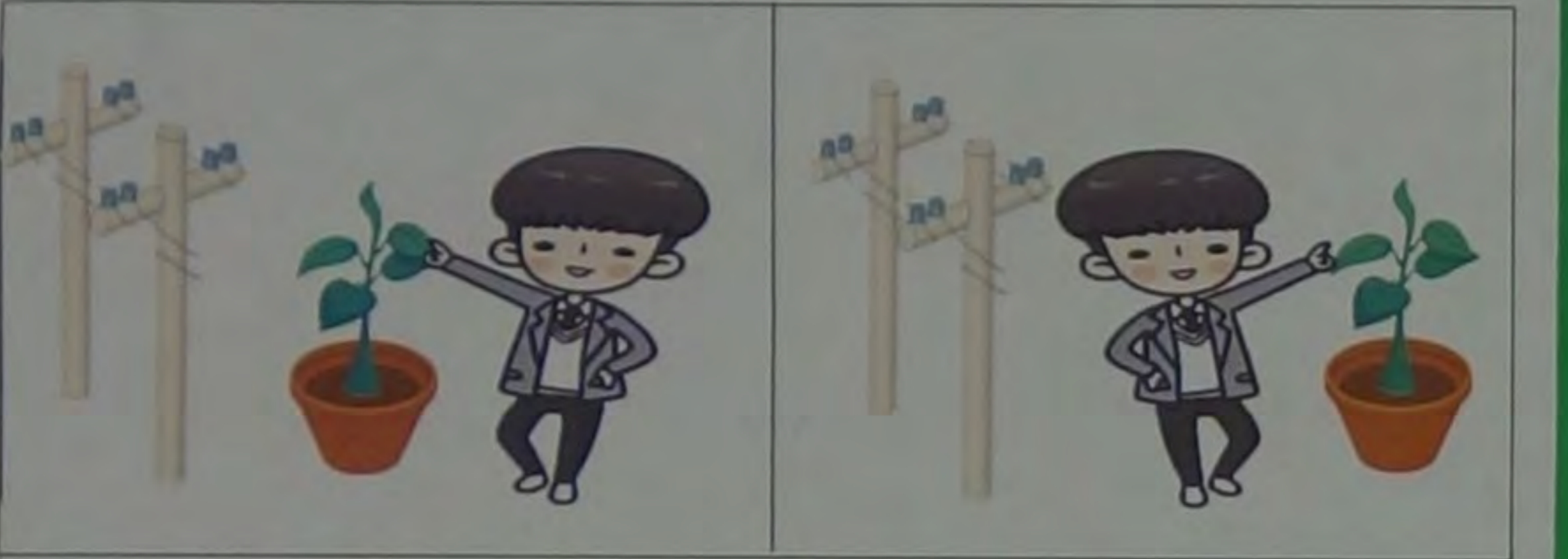


結果分析：
 1. 以本研究條件的結果來算平均，手觸摸葉，人體電位降為原電位的 34.5% (降低 65.5%)；手觸摸莖，則降為原電位的 29.2% (降低 70.8%)。
 2. 進一步以 X-Y 散佈圖來分析，如下圖。



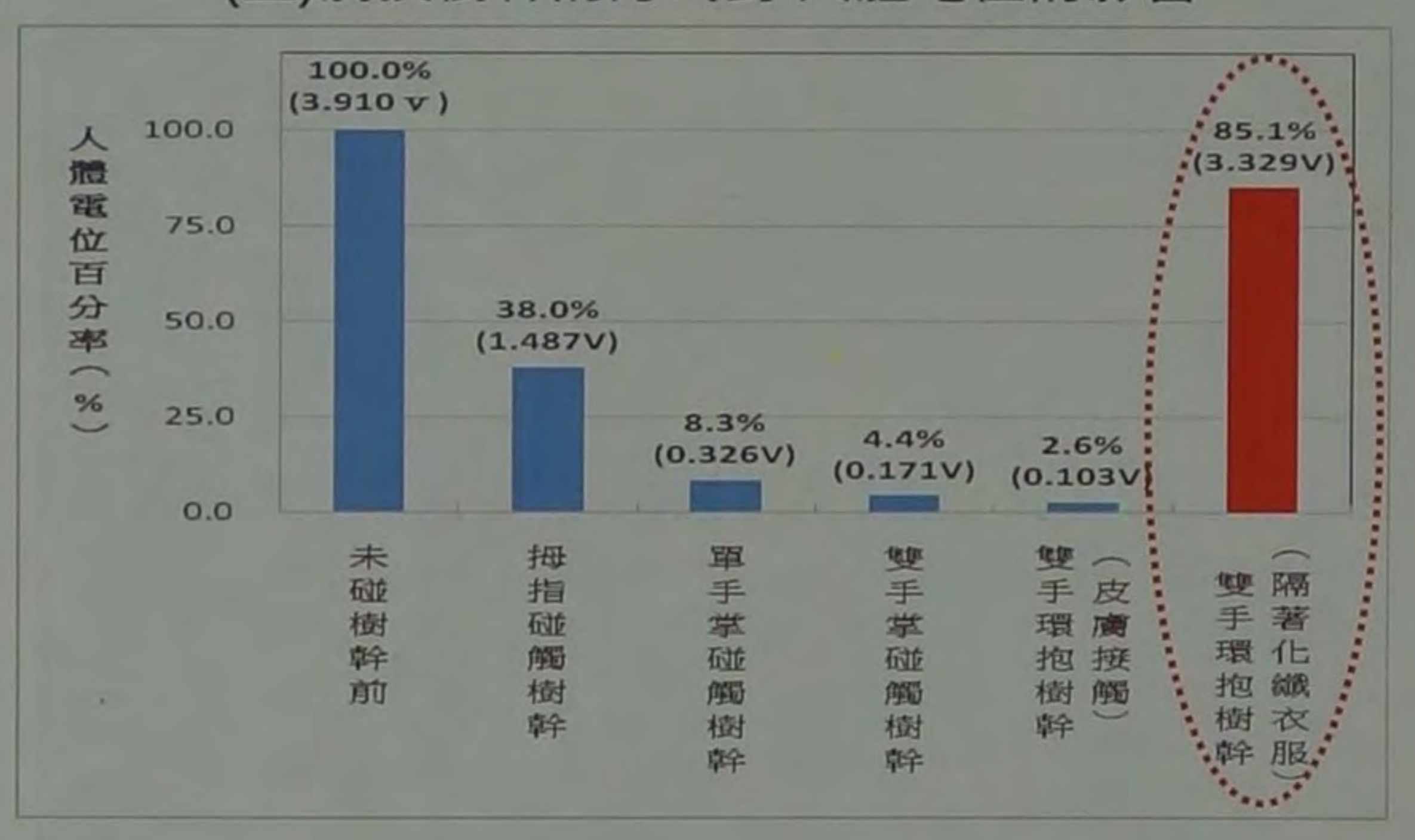
3. 實驗過程中，人體不管觸摸哪個植物，觸摸莖都比觸摸葉更能降低人體電位。觸摸莖的人體電位約為觸摸葉的 0.92 倍。推測這與葉、莖的接觸表面性質或葉扁平狀、莖圓柱狀等有關，原因有待後續研究。
 4. 手觸摸莖與手觸摸葉的相關係數(=0.970)接近 1，且斜率(0.92)接近 1，代表不管觸摸植物的莖或葉，所觸摸的該「植物本身」才是關鍵。
 5. 已知人體觸摸植物的莖有不錯的接地效果，且大樹的莖(樹幹)也是我們最容易觸摸的部位，因此若觸摸樹幹的方式不同有何影響呢？下列(五)繼續探討。

(三)觸摸盆栽時，盆栽的相對位置對人體電位的影響



結果分析：
 1. 當盆栽靠近電線時，手摸盆栽，人體電位上升，而植物電位下降，兩者電位互相關近。相反的，當人體靠近電線時，手摸盆栽，人體電位下降，而植物電位上升，兩者電位仍舊互相關近，似乎有些類似連通管原理。不過，即使是同一植株，其不同部位的電位就沒有差異了，因此人體與植物接觸後，兩者電位雖互相關近，但仍有差距，沒有完全相同。
 2. 一般認為，接近植物可降低人體電位，但實驗顯示並非必然如此。因為如果盆栽未接地，且盆栽受到附近交流電場影響而產生較高的植物電位時，人體觸摸該盆栽，反而會增加人體電位。所以，在室內，人體若要藉由觸摸盆栽來接地，以降低人體電位，該盆栽本身必須有良好的接地才行。

(五)觸摸樹幹的方式對人體電位的影響

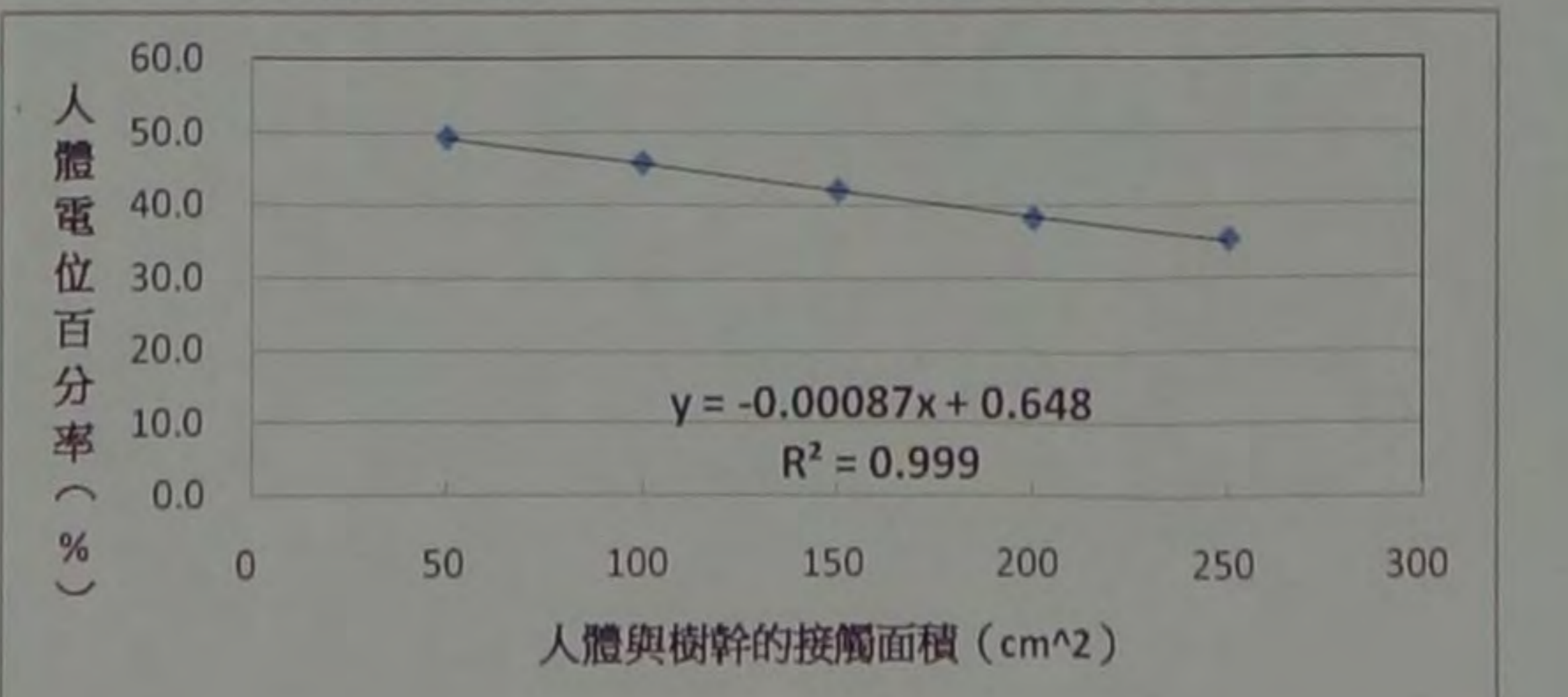


結果分析：
 1. 觸摸樹幹可降低人體電位，降低幅度為【雙手環抱(皮膚接觸)】>【單手掌】>【單手掌】>【拇指】>【雙手環抱(隔著化纖衣服)】。
 2. 實驗中，以皮膚接觸的方式去擁抱樹木有最佳的接地效果。因此，若想要接地又不方便脫鞋的話，擁抱樹木是個很好的替代選擇。這與自然醫學中的樹木療法，研究人員認為樹木生物場會影響人體，擁抱樹木可降低人體的腎上腺素，也許有所關連。

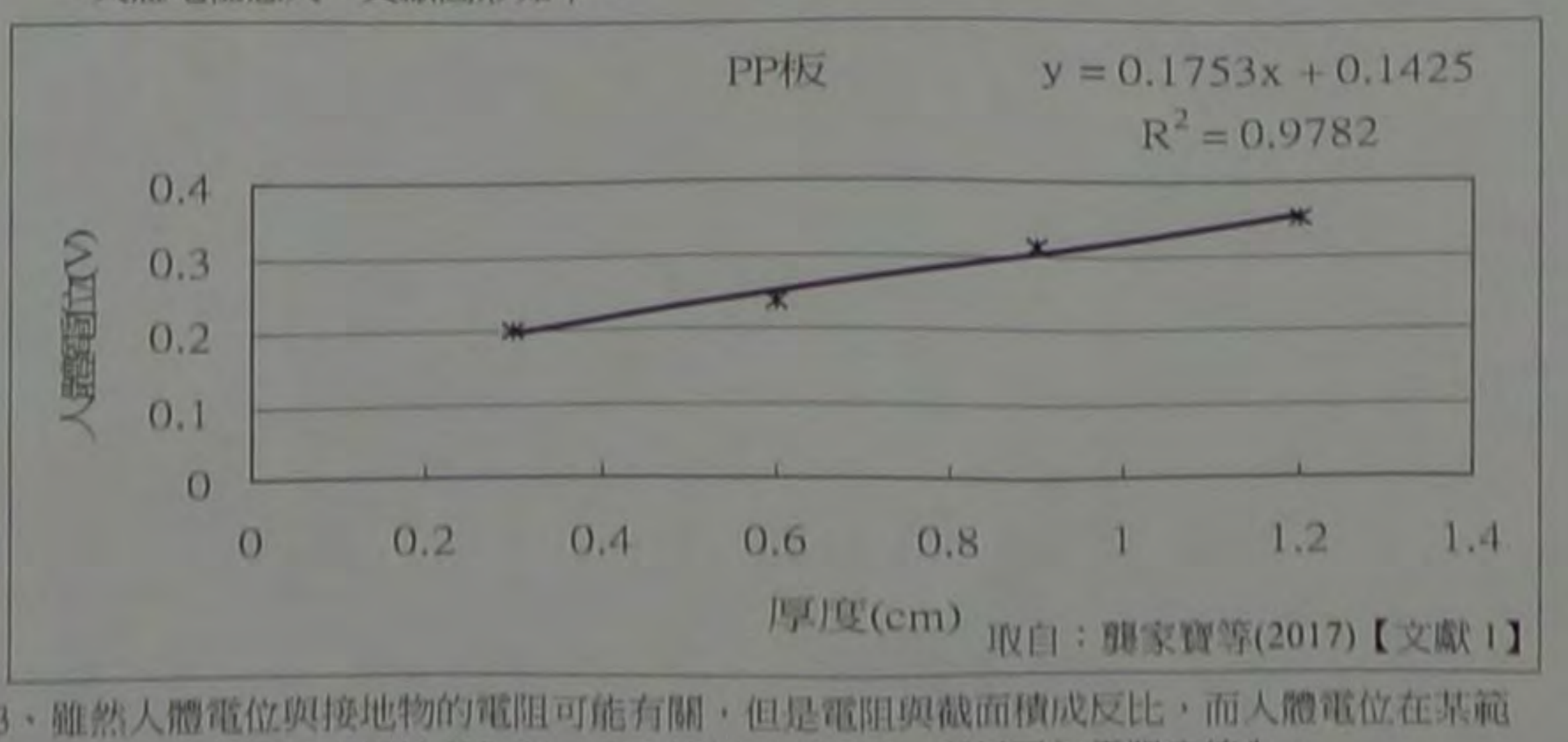


取自：蘋果日報 <https://tw.appledaily.com/headline/daily/20140606/35875950/>
 3. 穿著化纖衣服去擁抱樹木會嚴重影響接地效果，這如同人穿著塑膠鞋踩在草地的情況。
 4. 從結果來看，人體電位的下降與觸摸樹幹的接觸面積應有很大關係。下列(六)繼續深入探討。備註：為了有較佳的平整樹幹表面以避免誤差，實驗的樹種從檳榔改為大王椰子樹，並以鋁箔貼紙來定量接觸面積。

(六)觸摸樹幹的面積對人體電位的影響



結果分析：
 1. 人體經由鋁箔貼紙觸摸樹幹的面積愈大，人體電位就愈低，在鋁箔貼紙 50-250cm² 的範圍內，兩者有線性的負相關(決定係數 R²=0.999)。原因可能是因為電阻與面積成反比，所以接觸面積愈大→電阻愈小→接地效果愈佳→人體電位愈小。
 2. 從文獻中得知：腳踩在同種材質上，若材質厚度愈大，人體電位就愈高，兩者有明顯的線性關係。其原因是因為電阻與長度成正比，所以材質愈厚→電阻愈大→接地效果愈差→人體電位愈大，文獻圖形如下。



3. 雖然人體電位與接地物的電阻可能有關，但是電阻與面積成反比，而人體電位在某一範圍內與面積成線性負相關，這兩者的意義不同。所以已知電阻定律為：

$$\text{電阻} = \text{電阻係數} \times \frac{\text{長度}}{\text{截面積}}$$

 而綜合本次結果及文獻資料，在某一範圍內人體電位可近似為：

$$\text{人體電位} = A \times \text{接地物的厚度} - B \times \text{接地面積} + C$$

玖、參考資料

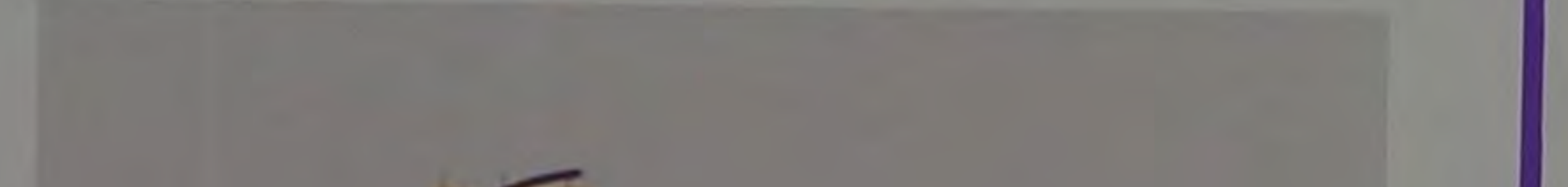
- 羅家寶、曾奕誠、許富宏(2017)。接地氣(Earthing) - 家用交流電下相關因子對人體電位之影響。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會國中組物理科作品說明書。
- 克林特、歐伯等人(2015)。接地氣 - 大地是最好的醫生 - 修復體內抗氧化系統，對抗自由基。臺北市：地平線文化。
- 馬愛清、王淑情、張錦華、張國勝、李峰、趙瑜(2015 年 5 月)。高壓交流輸電線路曝露場強限值下人體感應電場和感應電流分析。《高電技術》Vol.41, No.5。取自：<http://www.cqvip.com/qk/90900x/2015/668446/03.html>
- 習淵、楊麗輝(2008 年 12 月)。大氣電場及其對植物和農林的影響。《大學物理》COLLEGE PHYSICS Vol.27 No.12。取自：<http://dx.doi.org/10.1006/colle.2008.12.012>
- 劉文珍(2015 年 8 月 21 日)。高壓靜電場改變電位延長水果保鮮期限。國立教育廣播電台。取自：<http://bulletin.dyu.edu.tw/index.php?m=9&f=18908&resID=19815&id=10>
- 手摸示波器探棒-為何有弦波? 原因在這裡(2018 年 9 月)。實作派電子實驗室。取自：<https://www.stromlab.com/line-wave-appear-finger-clash/>
- 為什麼有工頻干擾?(2018 年 1 月)。電子發燒友(電子工程師社區)。取自：http://www.elecfans.com/article/82/131189/2018/01/01610841_A.html
- Dominic Clarke, Heather Whitney, Gregory Sutton, Daniel Robert (2013)。Detection and Learning of Floral Electric Fields by Bumblebees。Science 340, 66。From：<http://www.sciencemag.org/doi/10.1126/science.1238888>

結果分析：

1. 將三種植株分析如下，解者似乎找到了！在實驗條件下，植株長度與電位的相關性更高於植株質量與電位的相關性。

植株種類	型態	質量與電位的決定係數	長度與電位的決定係數
金錢樹	粗細均勻	0.991	0.985
虎尾蘭	寬窄不一	0.938	0.981
蘆薈	上窄筒下厚	0.784	0.959

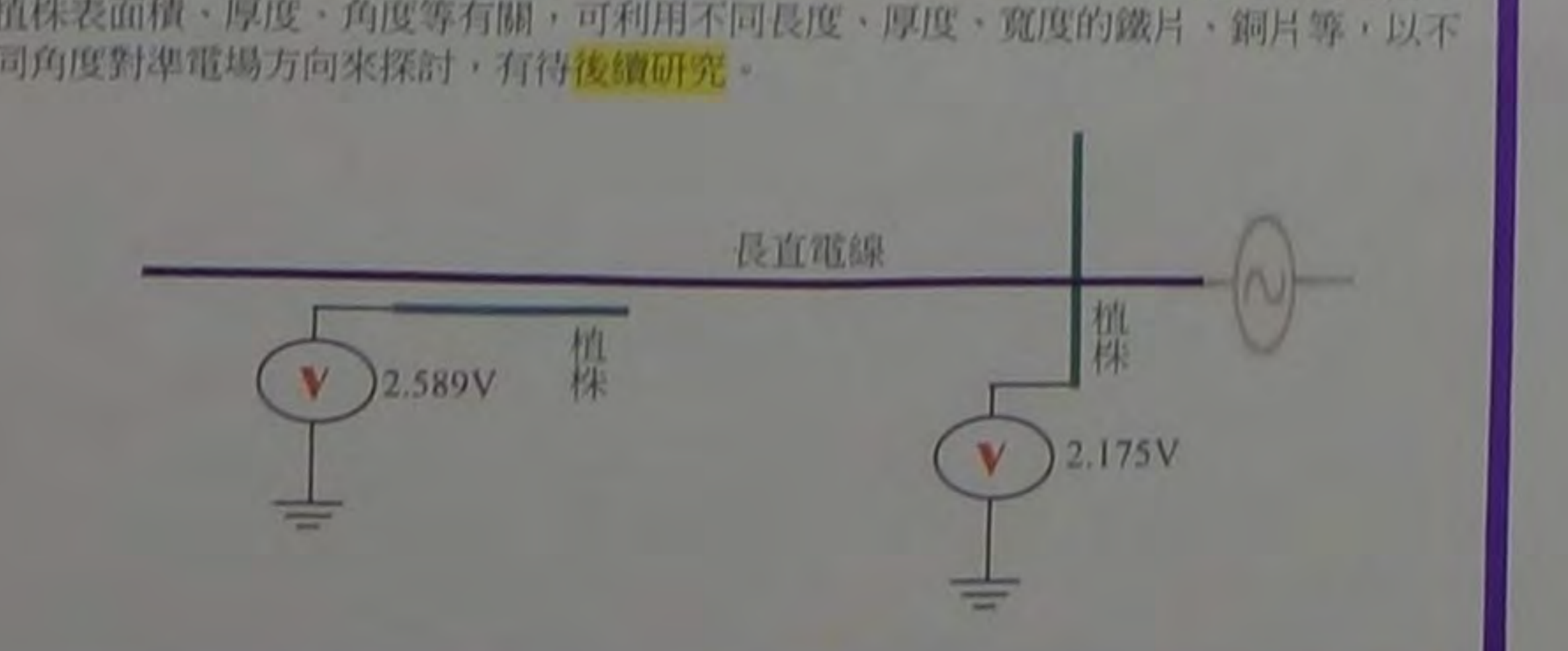
2. 文獻認為「人體電位與體重相關，與身高較無關」，應被修正！因為該研究是以坐姿的臀部面向電線，而非站姿將全身高面向電線所導致的結果(文獻資料如下)。



3. 植物電位為何和植株長度有關呢？這疑似天線效應，即人體或植株碰觸伏特計的探針後，人體或植株形同天線，會拾取電磁波中的電場，文獻圖如左下所示。另外，也有文獻認為是電容效應，有待後續研究。



人體觸探針可以等效為偶極天線 取自：實作派電子實驗室(2018)【文獻 6】



4. 再簡單測試，發現植株與長直電線平行時的電位(2.589V)大於垂直時電位(2.175V)，如右上圖所示。因此，綜合以上各研究，推測影響植物電位的因素還可能跟電場方向、植株表面積、厚度、角度等有關。可利用不同長度、厚度、寬度的鐵片、銅片等，以不同角度對準電場方向來探討，有待後續研究。