

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組生物(生命科學)科

040712

國立彰化高級中學

指導老師姓名

阮列陽

作者姓名

謝廷松

林子揚

張哲維

張肇烜

第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

科別：生物科

組別：高中組

作品名稱：樹鬚變身 - 環境刺激對榕樹氣根生長發育、形態發生的影響探討

關鍵詞：榕、氣根、形態發生



編號：

壹、摘要

我們的研究作品「樹鬚變身－環境刺激對榕樹 (*Ficus microcarpa* L.) 氣根生長發育、形態發生的影響探討」主要的研究重點在於瞭解榕樹的氣生不定根的形態與結構、生長發育與形態發生的過程，並運用生物及統計方法，分析環境或植物激素刺激對其生長發育與形態發生的影響等。

由實驗結果，我們發現：

- 一. 榕樹的「氣根」大部分的解剖構造形態似雙子葉植物莖，但木質部排列卻是外源型 (**exarch**)，有別於一般雙子葉植物莖；其末稍有雙子葉植物根構造，但其皮層部分含有葉綠體，和一般雙子葉植物根有所不同。
- 二. 榕樹新生的氣生不定根的萌發，在原有氣根的許多區段皆可發生。在似植莖部分，則髓為其萌發源；在似植根部分，則周鞘為其萌發源。
- 三. 在許多的環境因數中，以土壤溼度、土壤粒子大小與氣根萌發有較密切的關係。
- 四. 植物激素部分，以生長素、乙烯有較為顯著地促進萌發的效果，而離層素則有抑制萌發的能力。

貳、研究動機

榕樹 (*Ficus microcarpa* L.)，是台灣校園中常見的植物。每當在校園中漫步，總是會對榕樹垂下的那些細鬚般的氣根 (**aerial root**) 感到好奇。因為常聽人家說，榕樹可以「獨木成林」，就是氣根生長發育的結果。但是，是什麼原因使得氣根具有讓獨木而成林的能力呢？又是什麼樣的因素刺激榕樹氣根的生長發育 (**growth and development**) 及形態發生 (**morphogenesis**) 呢？這些問題一直都是心中未解的謎。直到上了高中後，課程內容談到有關植物生長發育與環境間的互動關係，才又興起解決這些有關榕樹氣根問題的動機。但我們在搜尋許多資料後發現無論是以往的科展或是研究報告均無關於此方面的詳細研究，於是設計了這個較創新且具挑戰性的實驗來嘗試解決以上的問題。

參、研究目的

- 一. 瞭解榕樹氣根的形態與結構。
- 二. 藉由給予榕樹氣根不同的環境或植物激素 (**plant hormone**) 的刺激後進行觀察，以瞭解榕樹氣根生長發育及形態發生的過程，並嘗試找尋促進榕樹氣根發根的因數。

肆、研究器材及藥品

- 一. 生物材料：榕樹氣根。
- 二. 器材：筆、記錄本、標籤紙、蠟封紙 (parafilm, M)、鋁箔紙、實驗用手套、逆滲透二次水 (ddH₂O)、培養土、礫石、細沙、60mL 藥水瓶、50mL 燒杯、100mL 燒杯、250mL 燒杯、500mL 燒杯、1000mL 燒杯、量筒、遊標尺、電子天平、微量天平、稱量紙、烘箱、噴霧器、試管、試管架、滴管、抽氣通風櫥、電子式大氣溫溼度計、恆溫箱、光學顯微鏡 (最大倍率 1000x)、載玻片、蓋玻片、拭鏡紙、塑膠洗瓶、單刃刀片、培養皿、鑷子、毛筆、數位相機 (Sony Cyber-Shot DSC-S70、Nikon Coolpix 5000)。
- 三. 藥品：蔗糖 (saccharose)、萘乙酸 (NAA, 1-Naphthylacetic acid)、離層素 (ABA, Abscisic acid)、益收生長素 (ethephon, 2-Chloroethylphosphonic acid, 乙烯前驅)、甘油 (glycerin)、甲醇 (methanol)、乙醇 (ethanol)、番紅 (safranin-o)、速綠 (fast green)、油鏡油。
- 四. 資料分析軟體：SPSS[®] 8.0.1、Microsoft Excel[®] 2000。

伍、研究過程及方法

- 一. 瞭解榕樹氣根的形態與結構
 1. 取樣
 - (1) 採集校園中已有的不同生長年齡的氣根。
 - (2) 將氣根依粗細及老化程度¹分類。
 2. 軟化處理
 - (1) 將老化的氣根組織切成小方塊 (約 125 mm³) 後, 和年輕的氣根組織一併置於沸水中煮沸以排除組織中的氣體直至組織沈入水中。
 - (2) 其中比重較低者挑出以甘油-酒精溶液 (50%) 保存於 4°C 的恆溫箱; 但較高比重者繼續進行後續軟化工作。
 - (3) 將上述較高比重的組織置於培養皿中, 倒入甘油水溶液 (10%), 放在 40 °C 的烘箱中加熱至水分完全蒸發, 約 7~10 天。後亦以甘油-酒精溶液 (50%) 保存於 4°C 的恆溫箱。
 3. 製作觀察用切片
 - (1) 以 50%酒精溶液浸泡三分鐘並沖洗*三次, 去除組織上殘留的甘油。

¹ 老化程度以外觀可見的次級生長結果如氣根粗細、氣根表層形態作判定。

- (2) 以徒手切片法製作並選取所需的組織切片樣本。
- (3) 以番紅-速綠雙重染色法（附表一.）處理組織切片樣本。
- (4) 取載玻片，以滴管滴上些許逆滲透二次水，再以毛筆將組織切本展平於載玻片上，並以 45°角迅速蓋上蓋玻片，作成水包埋玻片（隨時注意是否有氣泡產生。若有，則排除之）。
- (5) 貼上標籤註明，並置於光學顯微鏡下觀察紀錄、照相存檔。

二. 觀察並分析光照、土壤溼度對榕樹氣根生長發育及形態發生的影響

1. 樣本選取

- (1) 經調查，本校校內共有 23 棵榕樹，有足夠氣根進行實驗的有 17 棵。我們採簡單隨機抽樣（SRS）抽出其中 5 棵進行實驗。

2. 環境刺激處理

- (1) 裁剪約 100 cm²的蠟封紙及鋁箔紙作為包裹材料。
- (2) 將培養土以 140°C 烘箱處理 1 小時，使其脫去水分備用（每 15 分鐘須翻動一次，以求均勻）。
- (3) 以 1000mL 的燒杯及電子天平分別秤取約 75g 的培養土，並以量筒分別量取 0、25、50、75、150mL 的逆滲透二次水拌入培養土中。
- (4) 以稱量紙、電子天平分別秤取約 2g 的已處理的培養土，置入蠟封紙、鋁箔紙中。
- (5) 在被選取進行實驗的 5 棵榕樹中，各棵每種處理材料（含空白對照組）皆取 5 條健康且粗細、年齡接近的氣根包裹氣根尖端，並以標籤紙做上標記。

3. 紀錄萌發率與製作觀察用切片

- (1) 一星期後，紀錄以各環境變因處理的氣根萌發率²、生長狀況繪圖、切片觀察。
- (2) 觀察用切片製作同步驟一. 3.。

三. 觀察並分析土壤環境對榕樹氣根生長發育及形態發生的影響

1. 樣本選取

- (1) 樣本選取同步驟二. 1.。

2. 環境刺激處理

² 我們定義 萌發率=明顯有氣根發育之氣根數/所有氣根數。

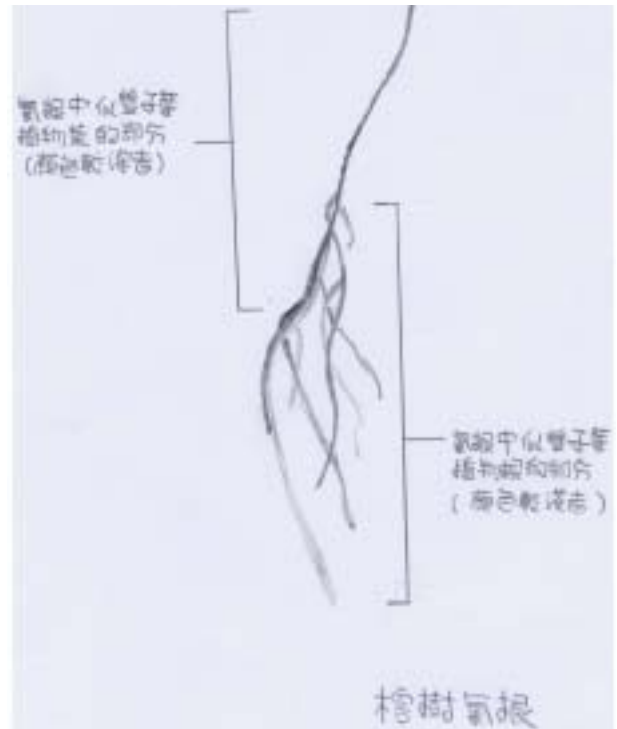
- (1) 裁剪約 100 cm²的蠟封紙作為包裹材料。
 - (2) 將培養土、礫石、細沙以 140°C 烘箱處理 1 小時，使其脫去水分備用（每 15 分鐘須翻動一次，以求均勻）。
 - (3) 以量筒分別量取體積約 3mL 的培養土、礫石、細沙、逆滲透二次水，置入蠟封紙中。
 - (4) 在被選取進行實驗的 5 棵榕樹中，各棵每種處理材料（含空白對照組）皆取 8 條健康且粗細、年齡接近的氣根以上述材料包裹氣根尖端，並以標籤紙做上標記。
3. 紀錄萌發率與製作觀察用切片
- (1) 萌發率紀錄與製作觀察用切片製作同步驟二. 3.。
- 四. 觀察並分析植物激素對榕樹氣根生長發育及形態發生的影響
1. 樣本選取
 - (1) 經調查，本校校內共有 23 棵榕樹，有足夠氣根進行實驗的有 17 棵。我們採簡單隨機抽樣（SRS）抽出其中 2 棵進行實驗。
 2. 植物激素處理
 - (1) 配置 0.5%蔗糖溶液 10L。
 - (2) 以微量天平分別稱取 NAA 1mg 溶入微量的乙醇溶液、ABA 1mg 溶入微量的甲醇溶液，再分別溶入 1L 蔗糖溶液，配置成含 1ppm 各激素的營養液。後採系列稀釋法配置 1×10^{-2} 、 1×10^{-4} 、 1×10^{-6} ppm 各激素的營養液；另稱取 1mg、2mg、5mg、10mg 的 ethephon。
 - (3) 將上述溶液各取 50mL 加入 60mL 藥水瓶中，並以鋁箔紙封瓶；ethephon 亦加入 60mL 藥水瓶中，並以鋁箔紙封瓶；另取 0.5%蔗糖溶液、逆滲透二次水做對照組。
 - (4) 在被選取進行實驗的 2 棵榕樹中，各棵每種處理材料（含空白對照組）皆取 15 條健康且粗細、年齡接近的氣根將氣根尖端插入藥水瓶並浸入溶液中 4~5 公分，以標籤紙做上標記。
 3. 紀錄萌發率與製作觀察用切片
 - (1) 隨時注意瓶中的水分蒸發情形，必要時可添加逆滲透二次水補充逸散的水分。
 - (2) 萌發率紀錄與製作觀察用切片製作同步驟二. 3.。

陸、研究結果與討論

一. 榕樹氣根的形態與結構

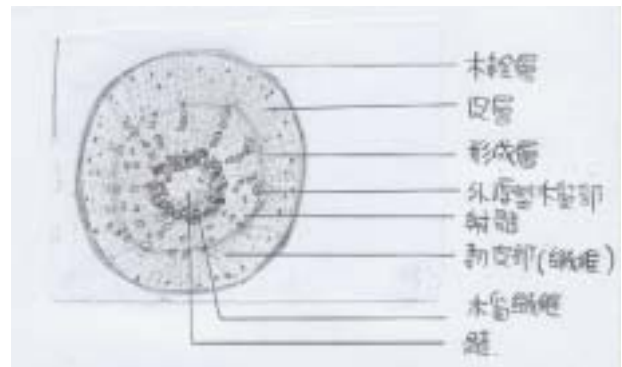
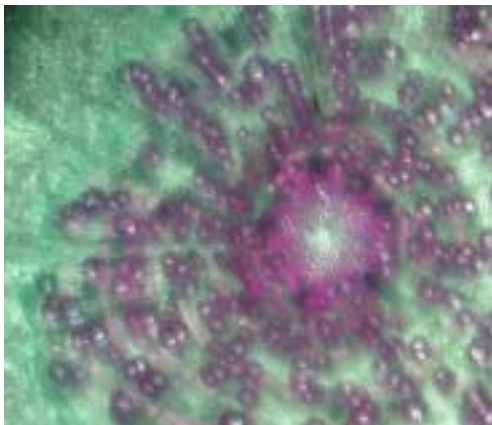
1. 氣根基本形態與結構

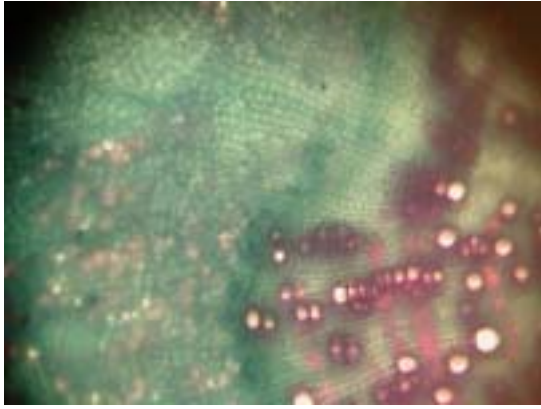
(1) 外觀



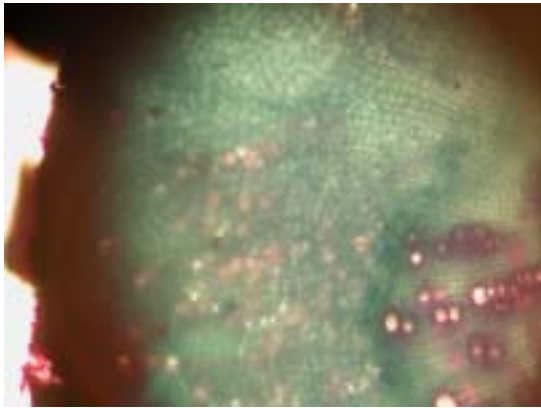
2. 組織切片照相與手工繪圖結果

(1) 氣根上段 (似雙子葉植物莖構造，但木質部為外源型)

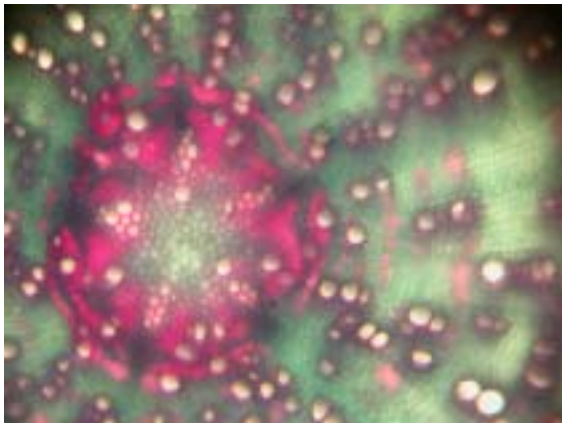




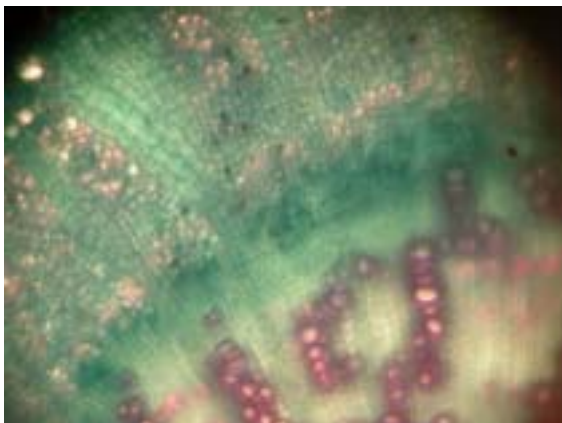
(皮層、韌皮纖維、韌皮部、形成層、木質部、射髓)



(木栓層、皮層、韌皮纖維、韌皮部、形成層、木質部、射髓)

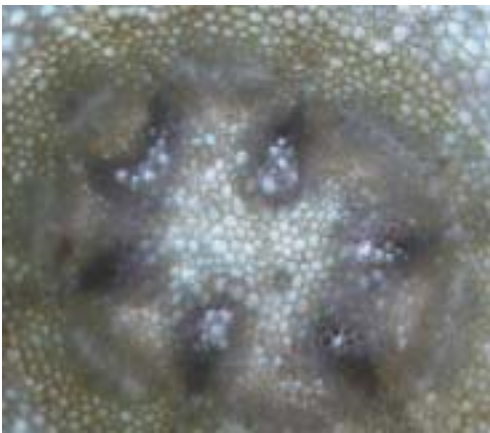
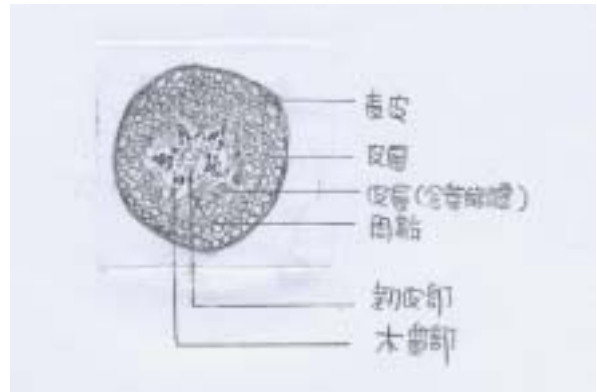
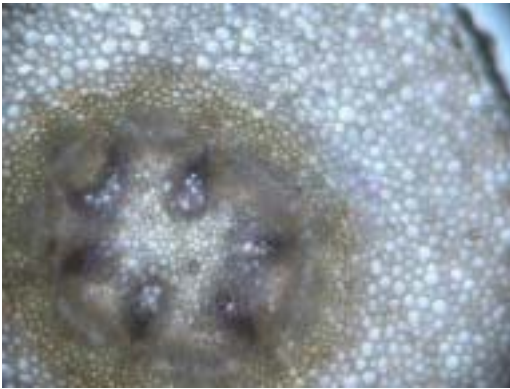


(木質部、射髓、木質纖維、髓)



【射髓(左上角)】

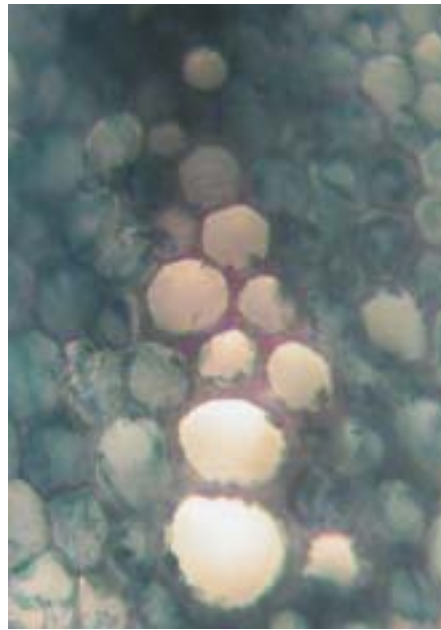
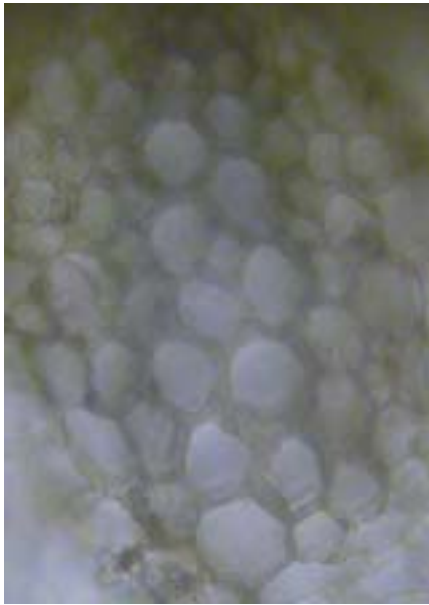
(2) 氣根末梢 (似雙子葉植物根構造，但部分皮層細胞具葉綠體)



(中柱與近中柱之皮層部份)

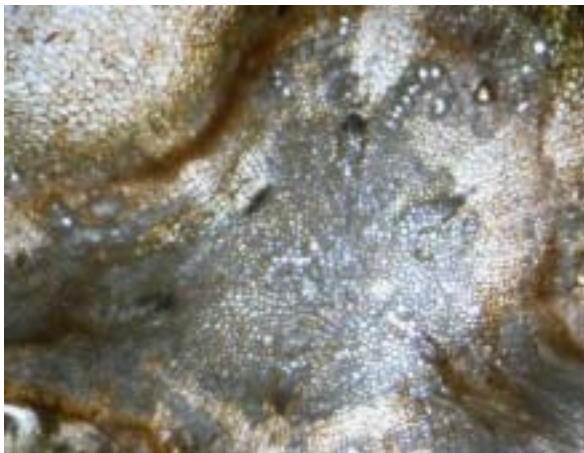


(皮層部分)

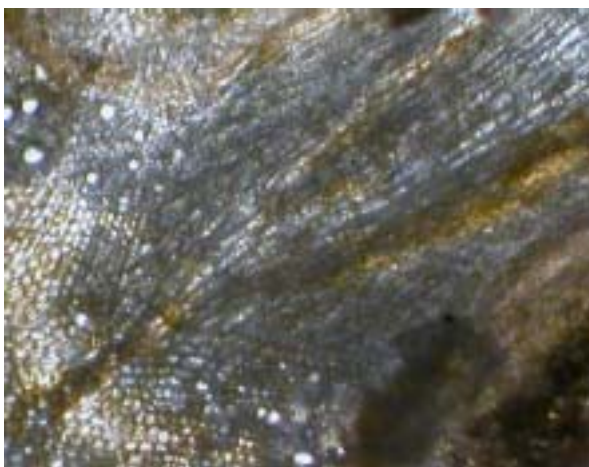


(木質部部分)

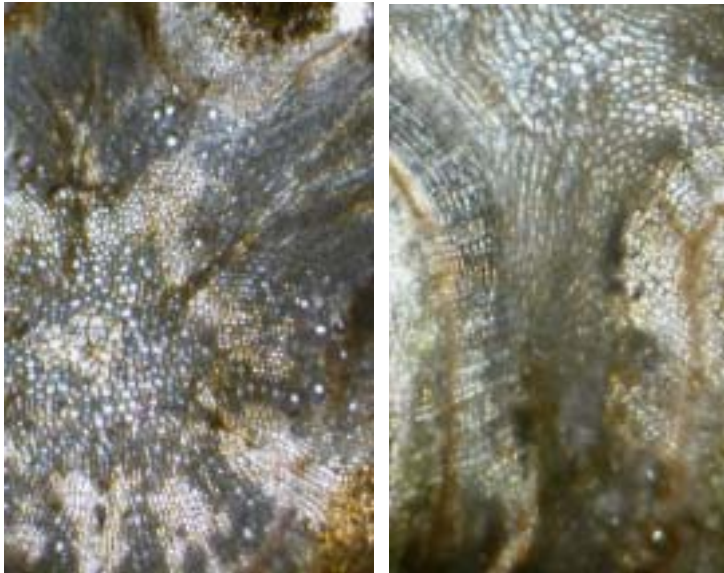
(3) 不定根的萌發



(似植根部分，周鞘為其萌發源)



(似植莖部分，髓為其萌發源)



(似植莖部分，髓為其萌發源)

3. 討論

(1) 在我們做了榕樹氣根組織切片觀察後，發現氣根大部分區段切片呈現出的型態似雙子葉植莖構造，但木質部排列卻是外源型 (exarch)；其末稍有雙子葉植根構造，但其皮層部分細胞卻含有葉綠體。以上皆是榕樹氣根特異的地方。

(2) 榕樹氣根許多區段皆有再萌發不定根的能力，於是我們選取了不定根萌發區段的氣根來做切片觀察，發現若在似植莖部分，則髓為其萌發源；若在似植根部分，則周鞘為其萌發源。

二. 光照、土壤溼度對榕樹氣根生長發育及形態發生的影響

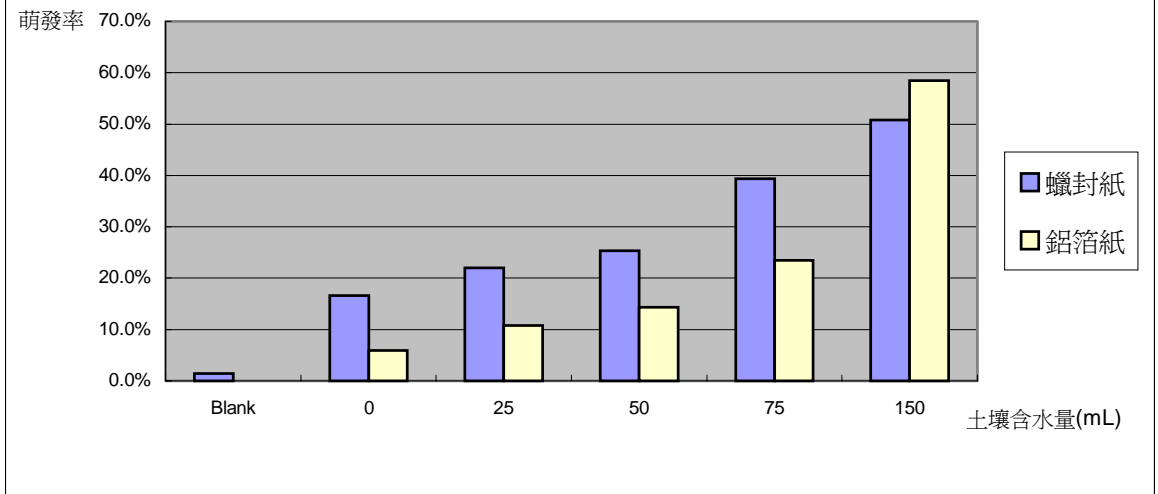
1. 紀錄與結果

| 實驗日期 土壤水含量 (mL) | Feb 10-Feb 16 | | | | Feb 17-Feb 23 | | | | Feb 24-Mar 02 | | | | 總計 | | | | 平均萌發率 | | 標準偏差 | |
|-----------------------|---------------|----|-----|----|---------------|----|-----|----|---------------|----|-----|----|-----|----|-----|----|-------|-------|-------|-------|
| | 蠟封紙 | | 鋁箔紙 | | 蠟封紙 | | 鋁箔紙 | | 蠟封紙 | | 鋁箔紙 | | 蠟封紙 | | 鋁箔紙 | | 蠟封紙 | 鋁箔紙 | 蠟封紙 | 鋁箔紙 |
| Blank | 0 | 24 | 0 | 23 | 0 | 21 | 0 | 19 | 1 | 22 | 0 | 24 | 1 | 67 | 0 | 66 | 1.5% | 0.0% | 0.026 | 0.000 |
| 0 | 4 | 23 | 1 | 24 | 3 | 19 | 2 | 23 | 4 | 24 | 1 | 21 | 11 | 66 | 4 | 68 | 16.7% | 5.9% | 0.008 | 0.025 |
| 25 | 5 | 22 | 2 | 19 | 5 | 23 | 2 | 22 | 5 | 23 | 3 | 24 | 15 | 68 | 7 | 65 | 22.1% | 10.8% | 0.006 | 0.017 |
| 50 | 7 | 20 | 3 | 21 | 4 | 23 | 4 | 22 | 6 | 24 | 2 | 20 | 17 | 67 | 9 | 63 | 25.4% | 14.3% | 0.088 | 0.041 |
| 75 | 9 | 21 | 6 | 23 | 10 | 24 | 4 | 18 | 7 | 21 | 5 | 23 | 26 | 66 | 15 | 64 | 39.4% | 23.4% | 0.052 | 0.024 |
| 150 | 10 | 20 | 13 | 24 | 11 | 22 | 11 | 19 | 11 | 21 | 14 | 22 | 32 | 63 | 38 | 65 | 50.8% | 58.5% | 0.014 | 0.048 |

數據表法說明：左欄為氣根萌發數,右欄為回收樣本數

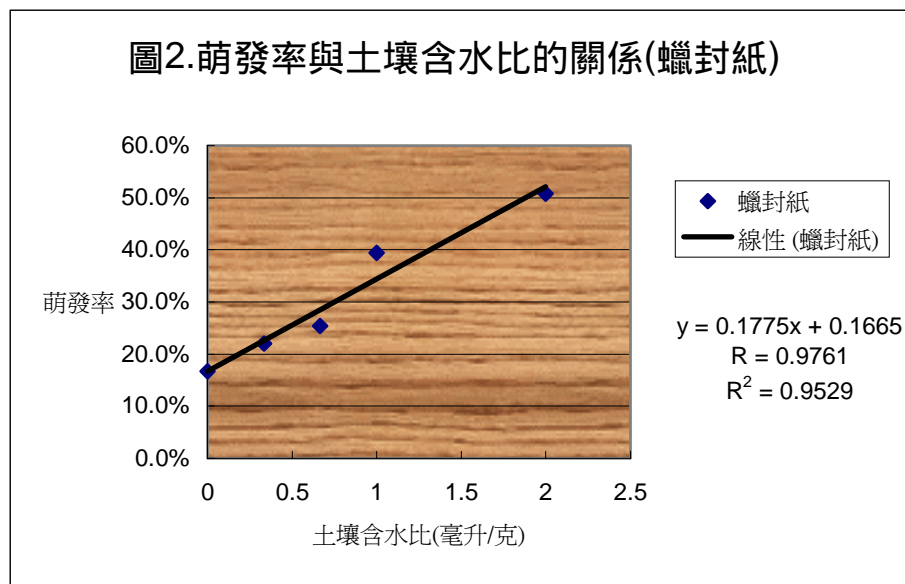
2. 萌發率比較

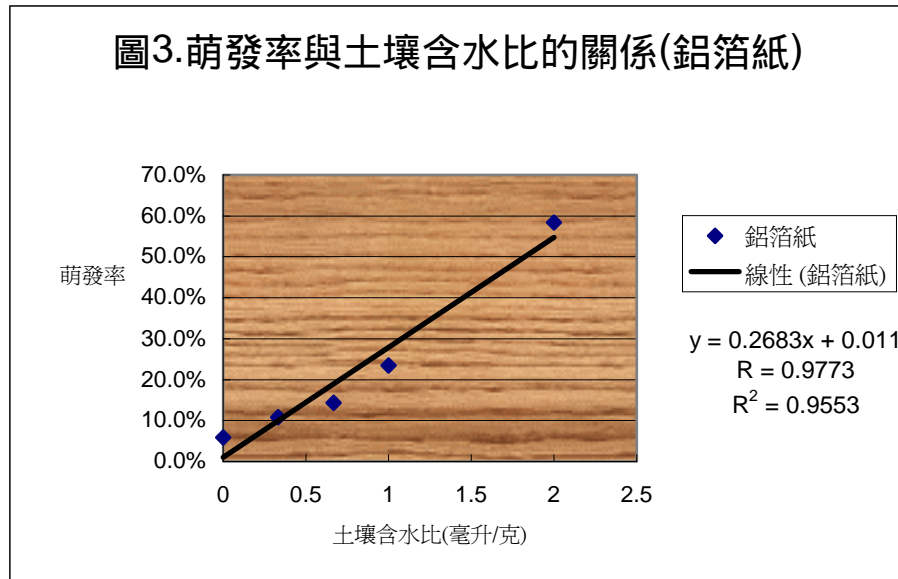
圖1.光照、土壤溼度對榕樹氣根生長發育及形態發生的影響



3. 萌發率與土壤溼度（土壤含水比）的關係

圖2. 萌發率與土壤含水比的關係(蠟封紙)





4.討論

- (1) 從表 1.和圖 1.來看，照光組（蠟封紙組）萌發率和不照光組（鋁箔紙組）的整體萌發率以照光組（蠟封紙組）較高，顯示光照對氣根的萌發有些許刺激的作用；但是在土壤含水量 150mL 時，不照光組（鋁箔紙組）稍較照光組（蠟封紙組）高，我們尚未找出可能影響此組數據的變因，關於此點，日後我們會重新進行實驗，找尋可能的變因並求實驗結果的精確。
- (2) 從圖 2.和圖 3.來看，照光組（蠟封紙組）與不照光組（鋁箔紙組）的萌發率皆與土壤含水比（土壤溼度）呈明顯正相關（兩組的 R 值、 R^2 值皆大於 0.95）。所以，我們做了如此推論：土壤溼度高低是影響氣根萌發的重要因素。
- (3) 我們以線性迴歸分析我們的實驗數據，得到萌發率（%）對土壤溼度（土壤含水比，毫升/克）的函數關係為 $y = 0.1775x + 0.1665$ 及 $y = 0.2683x + 0.011$ ，平均看來約為 $y = 0.2x$ 。但是，我們猜測土壤溼度（土壤含水比，毫升/克）對萌發率的影響應有極限【達到飽和或是微生物孳生率提高（易發黴等）影響】，只是受限於實驗材料數量，我們尚無法擴充實驗組數，未來我們會嘗試改變抽樣模式，找出兩者間完整的關係。

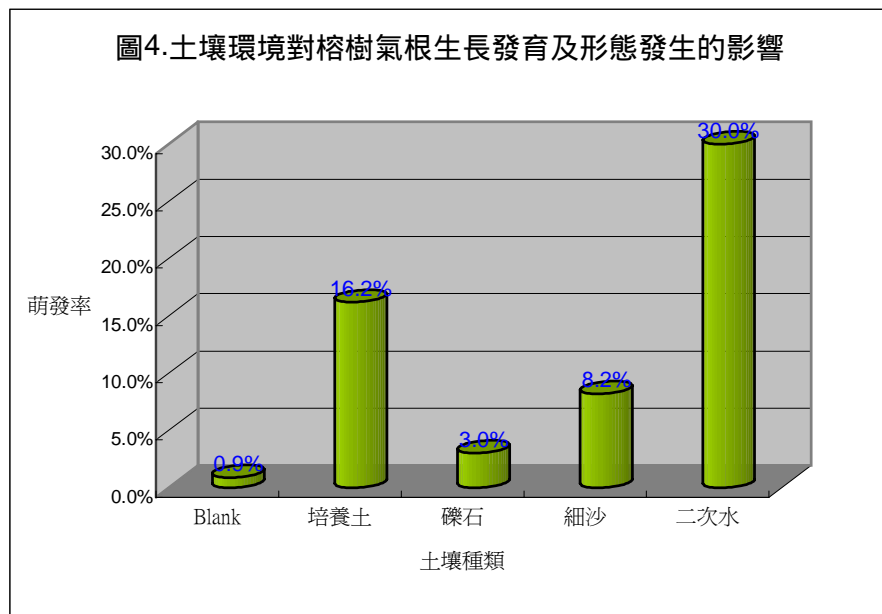
三. 土壤環境對榕樹氣根生長發育及形態發生的影響

1. 紀錄與結果

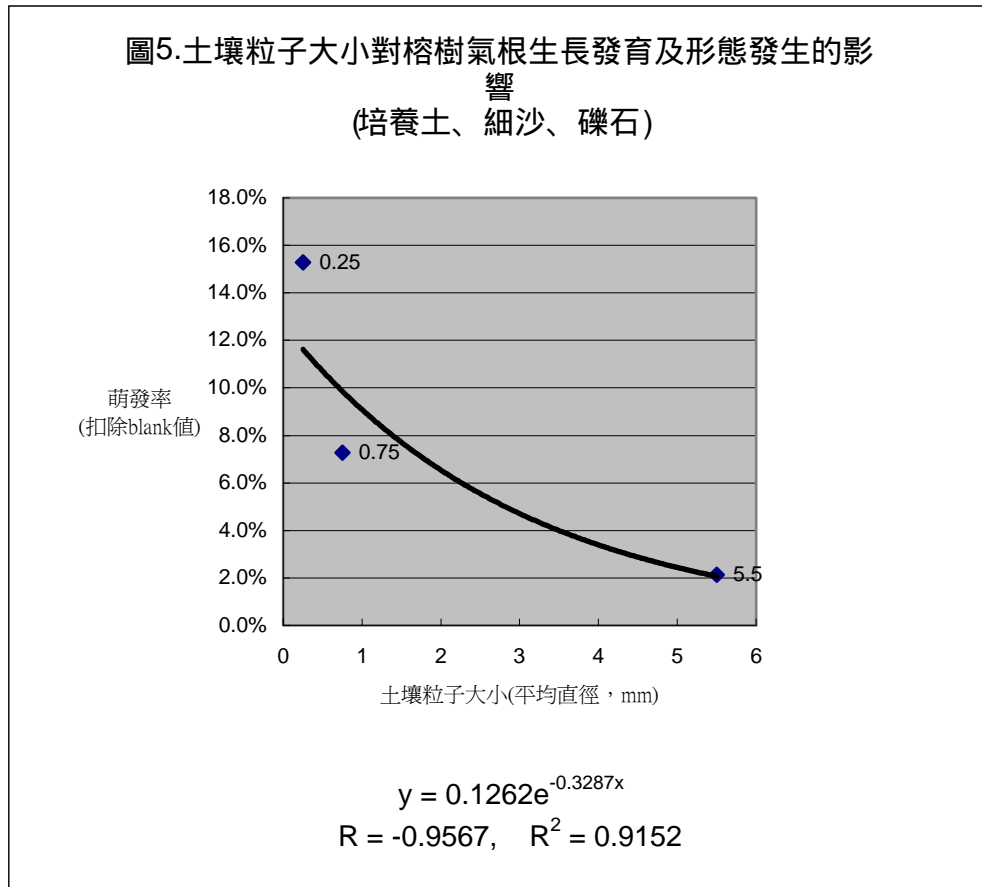
| 表2. 土壤環境對榕樹氣根生長發育及形態發生的影響 | | | | | | | | | | |
|---------------------------|---------------|----|---------------|----|---------------|----|-----|-----|-------|-------|
| 實驗日期 土壤種類 | Feb 24-Mar 02 | | Mar 13-Mar 19 | | Apr 06-Apr 12 | | 總計 | | 萌發率 | 標準偏差 |
| | 蠟封紙 | | 蠟封紙 | | 蠟封紙 | | 蠟封紙 | | 蠟封紙 | 蠟封紙 |
| Blank | 1 | 38 | 0 | 37 | 0 | 37 | 1 | 112 | 0.9% | 0.015 |
| 培養土 | 4 | 35 | 8 | 36 | 5 | 34 | 17 | 105 | 16.2% | 0.055 |
| 礫石 | 2 | 34 | 0 | 32 | 1 | 33 | 3 | 99 | 3.0% | 0.029 |
| 細沙 | 3 | 37 | 4 | 35 | 2 | 38 | 9 | 110 | 8.2% | 0.031 |
| 二次水 | 13 | 39 | 11 | 36 | 9 | 35 | 33 | 110 | 30.0% | 0.039 |

數據表法說明：左欄為氣根萌發數,右欄為回收樣本數

2. 萌發率比較



3. 土壤粒子大小與萌發率的關係



4. 討論

(1) 從表 2.及圖 4.來看，我們仍然可以明顯發現水分是氣根萌發的重要因數。但是，從以上的實驗數據【二.、三.】我們可以發現，單純以二次水處理的氣根萌發率比以含水量較高的土壤處理的氣根來的低。我們推測可能的原因有：

- a. 氣根完全浸水可能會引發其對淹水逆境的激素調控反應，而影響其萌發率。
- b. 氣根完全浸水亦可能影響組織的呼吸作用，使組織缺氧而壞死，而影響萌發率。
- c. 以含水量較高的土壤處理的氣根，可能會因水中溶出土壤中的礦物質或其他無機養分而促進氣根的萌發。

(2) 我們猜測土壤性質會影響萌發率的原因有：

- a. 土壤粒子大小→（影響土壤粒子表面積與體積比→影響土壤水分有效性、土壤與氣根實際接觸面積等）
- b. 土壤內可溶出礦物質或養分含量

但是我們在進行此實驗時，已將土壤完全烘乾，除去氣根組織呼吸作用釋

放的少量水氣外，應不會有太多的礦物質或養分可溶出，故此因素應可排除。另外，在我們以遊標尺測量我們實驗用的土壤之平均直徑後，我們以萌發率和土壤粒子大小作回歸分析後，發現兩者間的關係呈 $y = 0.1262e^{-0.3287x}$ 負相關 (R 值-0.9567、R² 值 0.9152)【如圖 5.】，即土壤粒子越大，氣根萌發率越低。而在土壤粒子大小影響的原因中則以土壤與氣根實際接觸面積較有可能，因為我們進行本實驗時已將土壤完全烘乾，故是否有物質碰觸氣根可能亦是影響氣根萌發的因數之一。未來若時間允許我們可能會以不同大小的塑膠或玻璃顆粒進行實驗，驗證此一猜測。

四. 植物激素對榕樹氣根生長發育及形態發生的影響

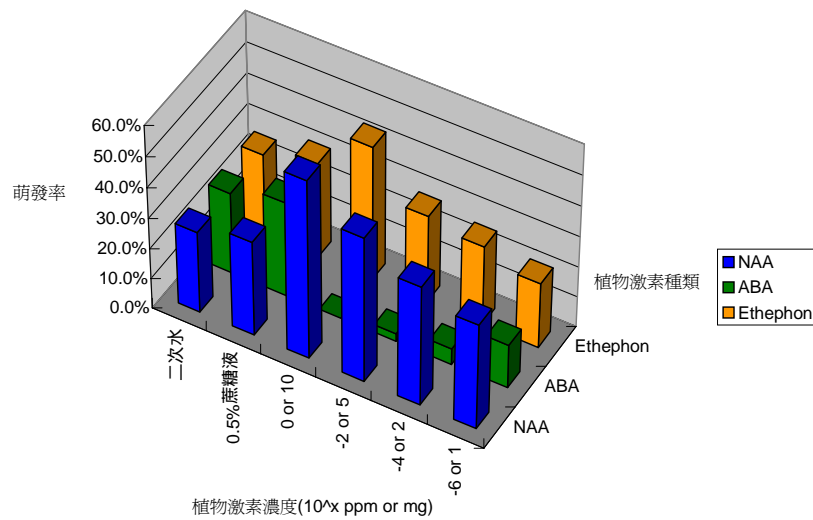
1. 紀錄與結果

| 實驗日期 植物激素種類 (ppm or mg) | Feb 24-Mar 02 | | Mar 13-Mar 19 | | Apr 06-Apr 12 | | 總計 | | 萌發率 | 標準偏差 |
|-------------------------------|---------------|----|---------------|----|---------------|----|-----|----|-------|-------|
| | 蠟封紙 | | 蠟封紙 | | 蠟封紙 | | 蠟封紙 | | 蠟封紙 | 蠟封紙 |
| Blank | 0 | 27 | 0 | 24 | 0 | 30 | 0 | 81 | 0.0% | 0.000 |
| ddH ₂ O | 6 | 24 | 6 | 24 | 8 | 27 | 20 | 75 | 26.7% | 0.027 |
| sugar solution | 10 | 30 | 9 | 30 | 8 | 27 | 27 | 87 | 31.0% | 0.020 |
| NAA 10 ⁰ | 13 | 27 | 15 | 24 | 14 | 21 | 42 | 72 | 58.3% | 0.097 |
| NAA 10 ⁻² | 13 | 24 | 14 | 30 | 10 | 24 | 37 | 78 | 47.4% | 0.063 |
| NAA 10 ⁻⁴ | 11 | 26 | 10 | 27 | 10 | 26 | 31 | 79 | 39.2% | 0.027 |
| NAA 10 ⁻⁶ | 10 | 30 | 9 | 27 | 9 | 24 | 28 | 81 | 34.6% | 0.024 |
| ABA 10 ⁰ | 0 | 26 | 0 | 29 | 0 | 30 | 0 | 85 | 0.0% | 0.000 |
| ABA 10 ⁻² | 1 | 24 | 1 | 26 | 0 | 29 | 2 | 79 | 2.5% | 0.023 |
| ABA 10 ⁻⁴ | 1 | 24 | 2 | 29 | 1 | 23 | 4 | 76 | 5.3% | 0.015 |
| ABA 10 ⁻⁶ | 3 | 23 | 5 | 30 | 3 | 24 | 11 | 77 | 14.3% | 0.023 |
| Ethephon 10 | 11 | 24 | 12 | 29 | 12 | 27 | 35 | 80 | 43.8% | 0.023 |
| Ethephon 5 | 7 | 26 | 6 | 24 | 9 | 27 | 22 | 77 | 28.6% | 0.044 |
| Ethephon 2 | 8 | 29 | 5 | 21 | 7 | 27 | 20 | 77 | 26.0% | 0.019 |
| Ethephon 1 | 5 | 27 | 6 | 27 | 7 | 30 | 18 | 84 | 21.4% | 0.025 |

數據表法說明：左欄為氣根萌發數,右欄為回收樣本數

2. 萌發率比較

圖6.植物激素對榕樹氣根生長發育及形態發生的影響



| | 二次水 | 0.5%蔗糖液 | 0 or 10 | -2 or 5 | -4 or 2 | -6 or 1 |
|------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| ■ NAA | 26.7% | 31.0% | 58.3% | 47.4% | 39.2% | 34.6% |
| ■ ABA | 26.7% | 31.0% | 0.0% | 2.5% | 5.3% | 14.3% |
| ■ Ethephon | 26.7% | 31.0% | 43.8% | 28.6% | 26.0% | 21.4% |

3. 討論

- (1) 由表 3.及圖 6.來看，蔗糖液有些許促進氣根萌發的能力，惟不甚明顯。未來若時間允許，我們會將養分與礦物質此項目獨立出來，作較完整的實驗。
- (2) 由表 3.及圖 6.來看，施加生長素與乙烯有較為顯著地促進氣根萌發的效果，且在我們實驗的濃度範圍內激素濃度與萌發率皆呈正相關；而離層素則有抑制氣根萌發的能力。但是，受限於實驗材料的數量，濃度組數無法擴增，故目前我們尚無法推測其整體的趨勢。未來若有相關的設備或儀器，應該可採組織培養的模式，來進行此實驗。
- (3) 由於 ethephon 極易潮解，我們並未將其配置成溶液，濃度控制以施加克數代替之；又乙烯在室溫下為氣態分子，極易揮發。以上這兩個因素皆會對此組數據有影響。
- (4) 植物激素對植物的作用，其實是取決於各個激素間的相對平衡來共同調控植物的生長發育與形態表現，限於設備與儀器，我們僅能作粗略的判定各個有關激素對氣根萌發的影響，而無法瞭解其內訊息的接受與基因調控機制。

柒、結論與未來展望

一. 榕樹氣根的形態與結構

1. 榕樹的氣根屬於不定根，有發育成支柱根的能力。故其氣根大部分區段似雙子葉植物莖構造，再進一步次級生長後實有加強支撐的功用；而其末稍存有雙子葉植物根構造，將有助於未來在觸地後萌發成完整根系的能力。惟在我們觀察的切片中，其似雙子葉植物莖部分的區段仍保有少數雙子葉植物根構造（外源型木質部），而已發育成老化支柱根形態的氣根是否仍有這種特徵，我們尚未確認，若未來如能有設備可取到老化支柱根內部組織而不傷害到榕樹的話，我們會做更進一步的觀察。又榕樹氣根末稍雖存有雙子葉植物根構造，但仍然屬於榕樹地表上的部分，故其皮層組織存有葉綠體應該是合理的，至於已深入地下部分的氣根其皮層部分則如同正常植物根未含有葉綠體。
2. 榕樹氣根許多區段皆有再萌發不定根的能力。在似植物莖部分，則髓為其萌發源；在似植物根部分，則周鞘為其萌發源。

二. 光照、土壤溼度對榕樹氣根生長發育及形態發生的影響

1. 在本次實驗中，我們僅用蠟封紙及鋁箔紙來控制光照此項變因，日後我們將繼續測試其他可行的不透光材料並擴大實驗抽樣樣本數，以求實驗結果的精確。
2. 因為一般植根都有向溼背光的性質，故我們進行了「光照、土壤溼度對榕樹氣根生長發育及形態發生的影響」此實驗。在經過我們的多次實驗後，數據顯示光照可能對氣根的萌發有些許刺激的作用，而土壤溼度高低是影響氣根萌發的重要因素。由於榕樹氣根末稍雖存有雙子葉植根構造，但其皮層組織存有葉綠體，從此現象應可推測榕樹氣根並不像一般植根，反而具有不怕光的特性。至於土壤溼度部分，榕樹氣根顯然保留了正常植根的特性。
3. 另外，由於榕樹氣根對土壤溼度的高度感知性，我們懷疑其氣根或許也能像蘭花氣生根一樣的吸收空氣中的水分，但是榕樹氣根除少數末梢外，大部分區段的表層都有木栓層，無法透水，唯一有可能具此功能的僅有末梢，未來我們亦會設法驗證此假設。

三. 土壤環境對榕樹氣根生長發育及形態發生的影響

1. 根據我們的實驗結果，土壤粒子越大，氣根萌發率越低。在我們考慮許多原因後，以土壤與氣根實際接觸面積較有可能，故是否有物質碰觸氣根可能亦是影響氣根萌發的因數之一。關於這一點有趣的現象，暗示了氣根萌發可能與向觸性有所關聯。

四. 植物激素對榕樹氣根生長發育及形態發生的影響

1. 根據我們的實驗結果，蔗糖液有些許促進氣根萌發的能力，惟不甚明顯。未來若時間允許，我們會將養分與礦物質此項目獨立出來，作較完整的實驗。
2. 根據我們的實驗結果，施加生長素與乙烯有較為顯著地促進氣根萌發的效果，而離層素則有抑制氣根萌發的能力。但是，受限於實驗材料的數量，濃

度組數無法擴增，故目前我們尚無法推測其整體的趨勢。未來若有相關的設備或儀器，應該可採組織培養的模式，來進行更完善的實驗，驗證我們的結果。

3. 植物激素對植物的作用，其實是取決於各個激素間的相對平衡來共同調控植物的生長發育與形態表現，限於設備與儀器，我們僅能作粗略的判定各個有關激素對氣根萌發的影響，而無法瞭解其內訊息的接受與傳遞以及基因調控機制。未來若有機會，此中的分子機制研究應該會是很有趣且具挑戰性的主題。

捌、參考資料

- 一. 王月雲 等。民國 92 年。植物生理學實驗。藝軒圖書。
- 二. 林金盾 等。民國 92 年。高級中學生物（上）。康熙圖書網路。
- 三. 易希道。民國 80 年。最新植物生理學。環球書社。
- 四. 楊冠政 等。民國 92 年。高級中學生命科學（上）。龍騰文化事業。
- 五. 鄭湧涇 等。民國 93 年。高級中學生物（下）。康熙圖書網路。
- 六. Campbell, N. A. 2002. Biology, 6th edition. Addison-Wesley.
- 七. Hans K. et al. The Five “Classical” Plant Hormones. *Plant Cell* Vol. 9, 1197-1210, July 1997.
- 八. John W. S. et al. Building a Root: The Control of Patterning and Morphogenesis. *Plant Cell* Vol. 9, 1089-1098, July 1997.
- 九. Thomas J. Why Do Plant Cells Divide? *Plant Cell* Vol. 9, 1021-1029, July 1997.

玖、附表附圖

附表一. 番紅-速綠雙重染色法

| 步驟 | 處理方法 | 處理時間 |
|----|-----------------------------|-------|
| 1 | 浸泡於0.5% 之safranin-o 50%酒精溶液 | 3小時以上 |
| 2 | 50%酒精沖洗 | 三次 |
| 3 | 70%酒精浸泡 | 10分鐘 |
| 4 | 85%酒精浸泡 | 10分鐘 |
| 5 | 95%酒精浸泡 | 10分鐘 |
| 6 | 0.1% fast green酒精溶液 | 3分鐘 |
| 7 | 95%酒精沖洗 | 三次 |

附圖一. 榕樹與其氣根（圖中似枝幹但較細者）



附圖二. 培養土、細沙、礫石



附圖三. 植物激素溶液配置



附圖四. 實驗進行情形



附圖五. 樣本回收與萌發率紀錄



評語

040712 高中組生物科

樹鬚變身—環境刺激對榕樹氣根生長發育、形態發生的影響
探討

1. 觀察仔細。
2. 實驗方法應加入分子層次的內容與討論。