

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物科

最佳團隊合作獎

030313

異色芒草株—五節芒 (*Miscanthus floridulus*)
變色機制之研究

學校名稱：臺北縣立林口國民中學

作者： 國一 江宜蓁 國二 李佳珈 國二 李亭霖 國三 徐小佩	指導老師： 鍾兆晉
---	------------------

關鍵詞：五節芒、變色、單寧酸

血染芒草株—五節芒 (*Miscanthus floridulus*) 變色機制之研究

摘要

禾本科是台灣常見的野生植物，經觀察發現此科植物普遍有變色現象，其中以五節芒 (*Miscanthus floridulus*) 的變色現象比例最高也最頻繁。本研究主要針對五節芒各部分出現的不規則紅色現象進行分析，探討其成分、推測原因並瞭解此現象對植物本身的生長影響。結果顯示，此現象分佈在五節芒的各個部位，變色成因與土質、土壤酸鹼度並無關聯，而是與水分含量有一定相關性，且針對化學分析後，證實此變色現象是單寧酸所致。從實驗結果推測，五節芒的變色現象可能是在植株遭受破壞後，為應對被傷口吸引而來的植食性動物所產生的防禦機制。

血染芒草株—五節芒(*Miscanthus floridulus*)變色機制之研究

壹、研究動機

一次，在戶外參觀時，發現四周佈滿著五節芒，且發現到五節芒外表有奇異的變化——變色。變色現象並非只出現於少數五節芒，而是大多數五節芒皆有此現象。基於好奇將五節芒橫面剖開，發現有的五節芒內部呈紅色、有的則是原來的綠色，外表上也能看到五節芒有被鑽洞的痕跡，此鑽孔痕跡非常小，而這些孔洞的四周都有變色現象。為什麼五節芒會變成紅色？為何只有部分呈現紅色，而不是整株五節芒？外部的鑽洞痕跡與變色的五節芒有什麼關聯？是氧化？昆蟲鑽洞？或是其他原因造成？而此現象是否也發生在其他植物上？這現象究竟是種病態，還是防禦？為了找出解答，於是設計實驗，開始一連串的五節芒變色之研究。



圖一、五節芒變色示意圖。

貳、研究目的

- 一、查詢五節芒(*M. floridulus*)的基本資料及樣區劃分。
- 二、觀察五節芒(*M. floridulus*)變色現象。
- 三、探討五節芒(*M. floridulus*)變色之成分。
- 四、探討人為破壞對五節芒(*M. floridulus*)生長之影響。
- 五、研究五節芒(*M. floridulus*)變色的成因。
- 六、統合並分析變色現象對五節芒(*M. floridulus*)之利弊。

參、研究器材

本實驗所需各項設備及器材詳如表一。

表一、實驗器材列表

物品名稱	使用數量	用途
數位相機	1 台 (型號 BENQ DCE600)	拍攝五節芒變色現象及樣區
複式顯微鏡	1 台 (型號 OLYMPUS 535389)	觀察五節芒變色切片
鏟子	2 支	收集各種土壤及採集五節芒
燒杯	數個 (250 cc)	裝入檢測單寧酸之藥劑
藥用酒精	數瓶 (75%)	溶解五節芒變色成分
美工刀	2 把	用於解剖五節芒
解剖刀	2 片 (Swann-Morton NO.4)	自製切片機
pH 值檢測器	1 支	測量土壤酸鹼值
純化單寧酸	1 瓶	與變色成分比較
盆栽	15 個	栽種實驗用五節芒
恆溫箱	1 台 (型號 CHANNEL IB45)	檢測土壤水分含量
亞硝酸鈉	10%	檢測單寧酸成分
尿素	20%	檢測單寧酸成分
醋酸	10%	檢測單寧酸成分
氫氧化鈉	2N	檢測單寧酸成分
電子秤	一台 (NOB110)	測量藥品份量

肆、研究過程

一、查詢五節芒的基本資料及樣區劃分。

(一) 查詢五節芒的基本資料

收集五節芒的相關文獻，以瞭解其外表、內部構造及鑑定特徵，並將實驗結果與相關資料進行比較，更進一步由文獻中查詢五節芒可能變色之成因，以著手設計實驗。

(二) 設立實驗及觀察用樣區

找尋臺地上有較多五節芒的地區，分別比較其土質、土壤 pH 值、五節芒的平均株數、單株有變色葉數平均與單株總葉數平均等，並將結果以表格呈現。

目前設立樣區如下：

- 1.校區側門 (121°19' 31" E) (25°4' 36" N)
- 2.住家旁 (121°24' 9" E) (25°4' 7" N)
- 3.森林步道 (121°19' 31" E) (25°5' 23" N)
- 4.人工濕地 (121°21' 56.9" E) (25°5' 18.1" N)
- 5.師範大學旁 (121°21' 40.3" E) (25°4' 7" N)

6.雜木林 (121°19' 31" E) (25°4' 36" N)

(三) 觀察並紀錄採集之五節芒

每星期於各樣區採集或觀察五節芒，瞭解其生長及變色現象，並分別紀錄下：莖與葉變色總面積（平方公分）、孔洞部位（節、莖、葉脈、葉緣）、變色位置（節、莖、葉脈、葉緣）、發現的昆蟲種類、枯萎部份（節、莖、葉脈、葉緣）、土質（紅土、黑土、黃土、砂石土）、土壤 pH 值及五節芒的大約株數等，並紀錄於實驗日誌。

二、觀察五節芒變色現象。

(一) 觀察並初步瞭解五節芒變色現象

初步觀察時發現在五節芒上，出現了紅色不規則斑點與線條，變色現象所涵蓋的面積都不太相同。實驗進行時，記錄下五節芒變色區域的形狀、顏色，及各部位之變色情形，以瞭解五節芒生長現象。

(二) 以複式顯微鏡觀察五節芒變色部位切片

紀錄五節芒變色情形時，大多只觀察表層，內部則較少深入觀察，於將五節芒分成莖和葉部，並分別取下有變色處作橫切。

1.將兩片解剖刀以雙面膠固定後，在刀片之間留下約 0.5 mm 的隙縫，並利用此隙縫切下五節芒莖與葉部的切片。

2.利用複式顯微鏡剖析（40x）有變色五節芒之內部切片，再將其與無變色五節芒切片進行比較，以瞭解五節芒變色所涵蓋的細胞及組織情形，並將結果拍攝下。

(三) 觀察五節芒變色部位

為瞭解五節芒變色是否有特定部位，於各樣區隨機選取 65 株五節芒，並將其分成葉脈、葉緣、節和莖四個部位，記錄下 65 株中各部位有變色的五節芒株數，最後統計結果以圖表呈現。

(四) 記錄五節芒一株中先變色部位

經前實驗得知五節芒各部位皆會變色，於是更進一步探討一株中先變色的部位。將五節芒分成節、莖、葉緣及葉脈四部位，並至樣區選取 60 株未變色的五節芒，觀察其最先變色部位並記錄，再以統計結果探討是否有特定部位會先行變色。

(五) 瞭解五節芒高度與變色之相關性

在樣區紀錄時，發現有變色五節芒的高度普遍比無變色五節芒高，為瞭解此現象是否一定，於是至樣區選取 30 株有變色五節芒，紀錄下其高度，將結果統計後製成圖表，探討變色現象與高度的關係。

(六) 探討五節芒枯萎部分與變色之關聯

觀察五節芒後，發現變色及枯萎的現象會伴隨出現，為瞭解五節芒變色與枯萎現象的相關性，於是在樣區隨機挑選 30 株有變色的五節芒，紀錄十天中各株五節芒生長情形，觀察其枯萎與變色現象的重疊部分，並重複實驗，總結出其關聯性。

(七) 觀察昆蟲出現與五節芒變色之相關

在樣區常觀察到五節芒上有昆蟲出現，為探討昆蟲出現與五節芒變色比例有何關聯，因此至兩樣區選取 60 葉有昆蟲出現的五節芒，紀錄此 60 葉是否有變色情形。

(八) 比較禾本科植物與五節芒之變色現象

為了瞭解其他禾本科植物是否也有類似五節芒的變色情形，於是查詢相關禾本科植物，並於人工溼地樣區選定較常見的禾本科之白茅、蘆葦及狼尾草，觀察在單株內其總葉數及有變色葉數，最後將四種植物進行比較，結果以表格呈現。

三、用化學分析法透析五節芒變色成分。

(一) 查詢文獻並比較變色現象之成分

在觀察五節芒變色現象的特徵後，推測可能導致此現象的原因，進而比較並查詢相關文獻，最後針對篩檢出的物質設計實驗，以確定五節芒變色成分，並將結果以流程圖呈現。

(二) 檢驗單寧酸

經過篩檢後，推測其變色成分是單寧酸，為了確定是否為單寧酸，於是將選用純化單寧酸，加入 10% 的亞硝酸鈉、20% 的尿素與 10% 的醋酸，經 5 分鐘後，再加入 2 倍的 2N 的氫氧化鈉，並觀察溶液是否呈橘紅色，最後分別取有變色以及無變色五節芒進行檢測，進一步分析變色五節芒是否含有單寧酸成份。

四、探討人為破壞對五節芒生長之影響。

在觀察五節芒時，常發現變色周圍有小孔洞、裂縫和斷裂等現象，推測是五節芒受破壞後，周圍漸漸變色，於是設計以下自行破壞五節芒之實驗，探討五節芒被破壞與變色之關聯。

(一) 研究不同破壞方法對五節芒變色之影響

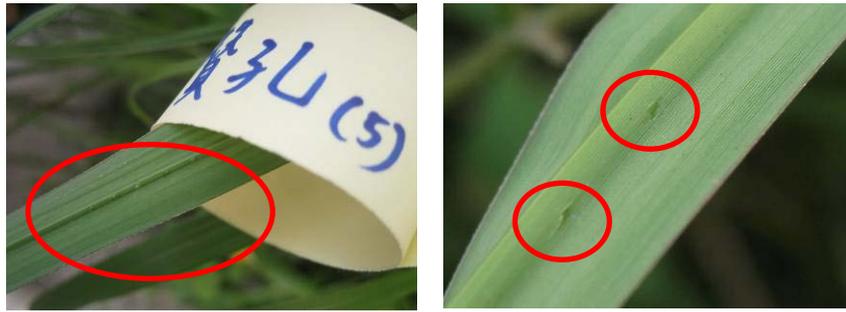
每實驗各選取 5 株無變色、無受破壞之五節芒，分別以不同顏色紙條做上記號，每日觀察此 5 株五節芒生長情形，將發現到的現象以相機紀錄下，並統整結果製成圖表。五種破壞方法分別如下：

1. 剝除：自行剝下一株中其中一葉，使五節芒節部被破壞，觀察葉斷裂處的變化。



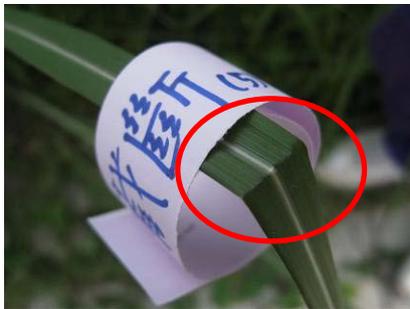
圖二、五節芒葉片剝除示意圖。

2.鑽孔：以 0.1cm 的細針，在五節芒葉脈背部鑽入 5 個小孔洞，每個孔洞間距 1 cm。



圖三、五節芒葉脈鑽孔示意圖。(A：鑽孔；B：鑽孔放大)

3.截斷：將葉脈從中折成兩段，造成葉脈與維管束斷裂，並觀察葉脈部份生長情形。



圖四、五節芒葉片截斷示意圖。

4.刮除：以小刀刮除下無變色五節芒葉脈背部的葉肉部分，刮除的長度大約控制在 1.5 cm。



圖五、五節芒葉脈刮除示意圖。

5.裂縫：以小刀在莖部最外層，割出與昆蟲破壞大約相同為 1.5cm 的裂縫，觀察裂縫周圍和莖部變化。



圖六、五節芒莖部裂縫示意圖。

五、研究五節芒變色的成因。

觀察五節芒時，發現各樣區五節芒的變色、枯萎情形不太相同，因此探討不同環境因素下，五節芒之變色與生長情形。

(一) 探討土壤含水量對五節芒的影響

觀察時發現雜木林與校區側門的五節芒變色比例相差極大，為得知是否與水份含量有關，於是在兩樣區各取土壤 160 公克，放在燒杯中並置於恆溫箱(70 °C)，等待 5 天後取出，以電子秤測量其剩餘的重量，進一步推算兩樣區的土壤含水量。

(二) 了解有塗及無塗單寧酸對五節芒變色的影響

至樣區找尋 45 葉五節芒，其中選取有變色及無變色五節芒各 15 葉並塗上單寧酸，標號為 A 和 B，另外也選取 15 葉無變色且不塗單寧酸的五節芒，標號 C，實驗數天後，分別觀察三組五節芒的變色現象，進而探討單寧酸為何存在於五節芒上。

(三) 比較不同土質對五節芒生長的影響

由目的的一的實驗可得知各樣區的土質皆不相同，因此探討不同土質與五節芒變色現象之關聯，於是至校區側門、住家旁、人工濕地及雜木林樣區選取 50 株五節芒，並以株為單位，統計出變色株數之比例，將結果製成表格呈現。

六、統合並分析變色現象對五節芒的利弊。

將以上實驗結果進行統整，瞭解五節芒變色成因，及變色現象對五節芒生長影響，進一步評估此變色現象對於五節芒本身的利弊關係。

伍、研究結果

一、查詢五節芒的基本資料及樣區劃分。

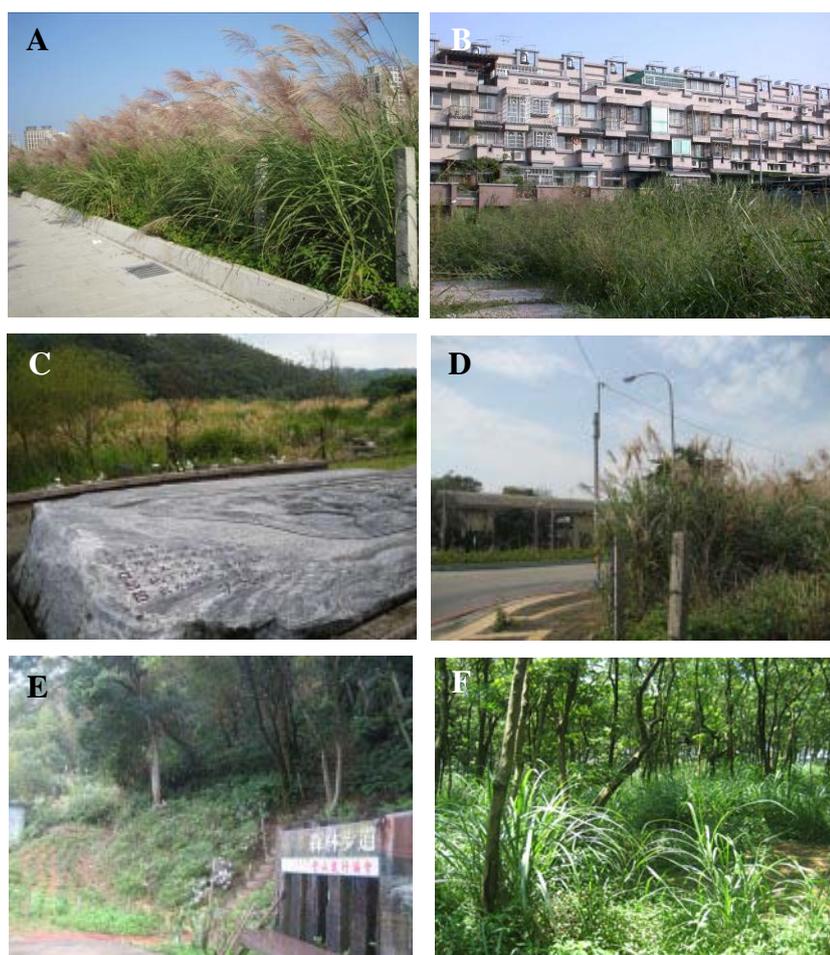
(一) 五節芒(*Miscanthus floridulus*)

植物界(*Kingdom Plantae*)，木蘭植物門(*Phylum Magnoliophyta*)，百合綱(*Class Liliopsida*)，莎草目(*Order Cyperales*)，禾本科(*Gramineae*)，芒屬(*Miscanthus*)。圓錐花序長 30-60 cm，其組成份子之總狀花序長 10-20 cm。外穎膜質至亞革質，先端二齒；上位外稃具曲折短芒，芒長約 4 mm。全島低海拔至中海拔破壞地。



圖七、五節芒生長圖。

(二) 設立實驗及觀察用樣區



圖八、各樣區圖。(A：校區側門；B：住家旁；C：人工濕地；D：師範大學旁；E：森林步道；F：雜木林)

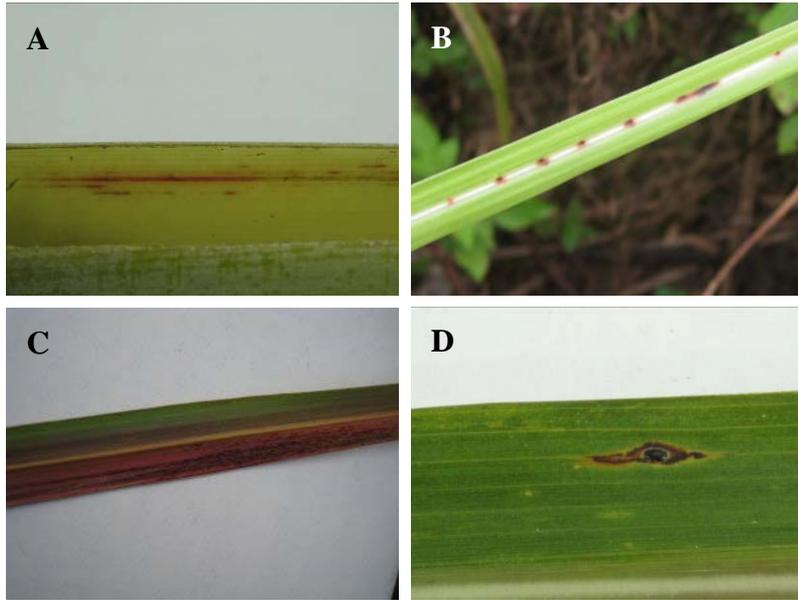
表二、樣區比較結果

	校區側門	住家旁	人工溼地	師範大學	森林步道	雜木林
土質	黑土	砂石土	黃土	紅土	紅土	紅土
土壤 pH 值	5.7	6.9	6.7	4.9	5.3	6.1
平均株數(株/m ²)	98	124	178	186	116	52
單株葉變色平均比例	79%	67%	60%	71%	46%	31%

二、觀察五節芒變色現象。

(一) 觀察並初步瞭解五節芒變色現象

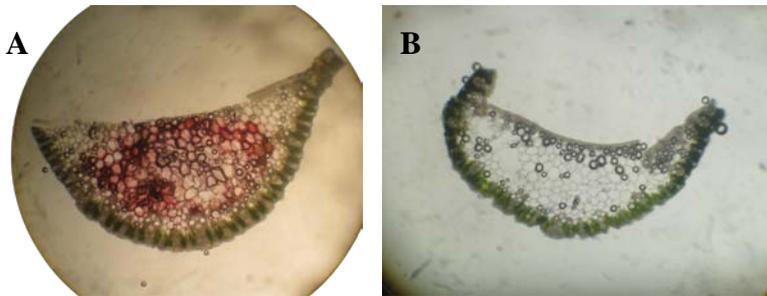
變色現象意指：五節芒的表面出現不規則紅色，形狀多是與葉脈平行的長條狀，或是大小不一的紅褐色斑點，有些則是大面積佔滿整個葉片的紅色，變色周圍出現黑色斑點狀。



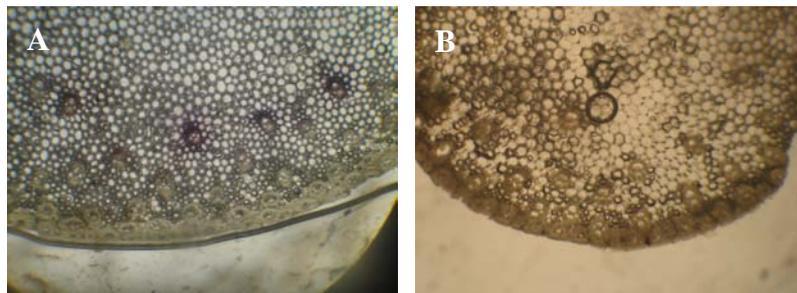
圖九、五節芒各變色現象。(A：與葉脈平行的長條狀；B：大小不一的紅褐色斑點；C：大面積變色；D：黑色斑點狀)

(二) 以複式顯微鏡觀察五節芒變色部位切片

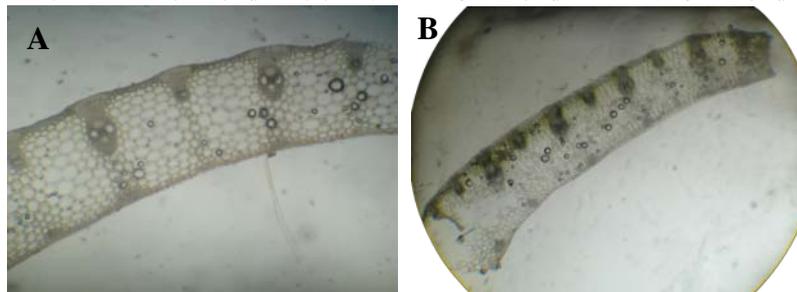
透過五節芒葉脈、莖及花芒梗的橫切照，可發現變色部位多分布於維管束，其中變色現象皆有出現在木質部及韌皮部，且變色會擴散至周圍葉肉細胞，以致表面呈現明顯紅色。



圖十、五節芒葉脈切片。(A：有變色葉脈；B：無變色葉脈)



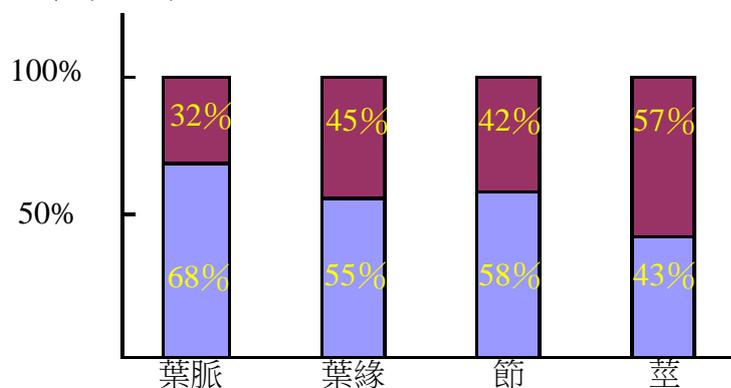
圖十一、五節芒花梗切片。(A：有變色花梗；B：無變色花梗)



圖十二、五節芒莖部切片。(A：有變色莖部；B：無變色莖部)

(三) 觀察五節芒變色部位

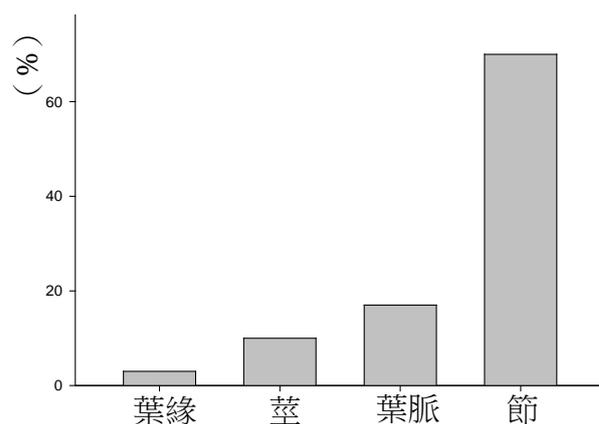
由圖十三可得知，莖、節、葉脈及葉緣四部位皆有變色現象，變色比例最高的為葉脈（68%），其次為節（58%）及葉緣（55%），而變色比例最少的則為莖部（43%）。



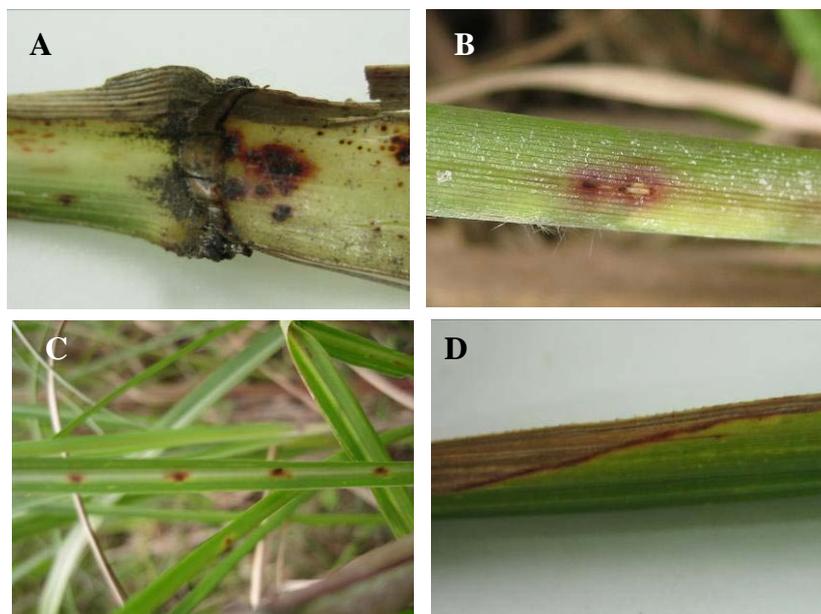
圖十三、各部位有無變色比例圖。(藍色：有變色比例、紅色：無變色比例)

(四) 記錄五節芒一株中先變色順序

由圖十四可知，節部先變色比例最高（70%），依次為葉脈（17%）、莖（10%），比例最少的則是葉緣（3%）。



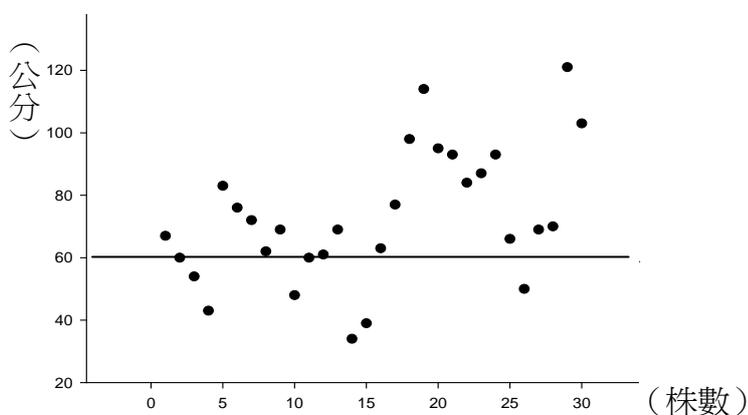
圖十四、五節芒先變色順序比例圖。(葉緣：3%；莖：10%；葉脈：17%；節：70%)



圖十五、五節芒各部位變色情形¹⁰(A：節部；B：莖部；C：葉脈；D：葉緣。)

(五) 瞭解五節芒變色與其高度之相關

由圖十六可知，五節芒生長高度在 60 公分以上時，變色數量明顯較高，而高度 60 公分以下的五節芒，其變色數目明顯較少。

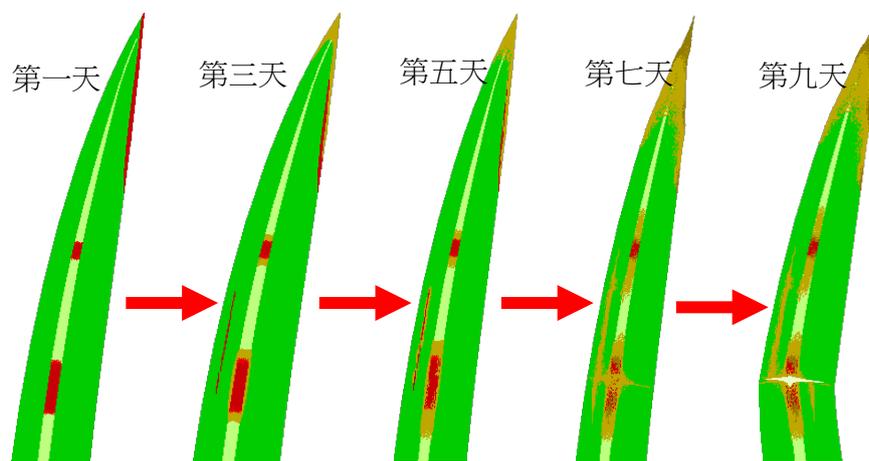


圖十六、30 株有變色五節芒其高度統計圖。

(六) 探討五節芒枯萎部分與變色之關聯

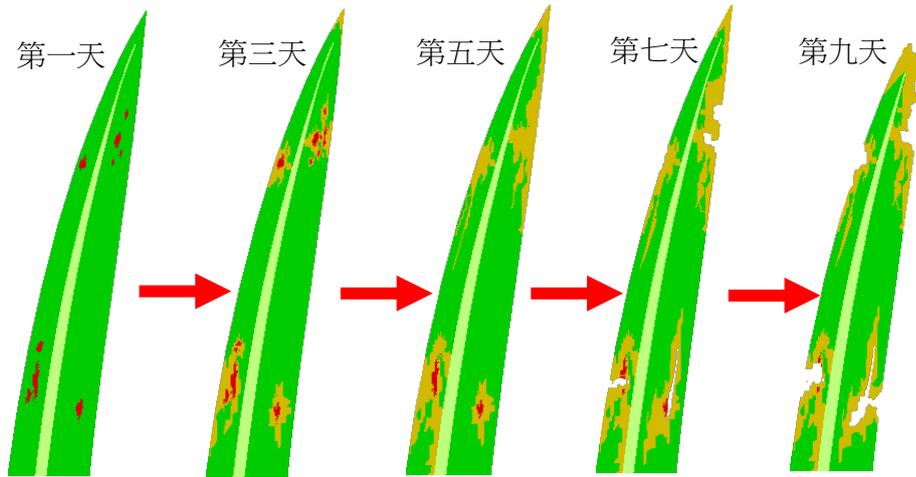
結果顯示，五節芒會先行變色後，才有枯萎現象產生，且發現其變色的 4 至 5 天，變色部位會逐漸枯萎。其中一葉五節芒枯萎後，並不會影響整株五節芒生長，以下為三種較常見的枯萎現象：

編號一：五節芒的葉脈及葉緣變色後，約至第三天時，葉尾會逐漸枯萎；約在第五天時，葉脈變色部份周圍有枯萎現象產生，並沿著周圍擴散，到第七至第九天時，葉脈枯萎部分便會斷裂。



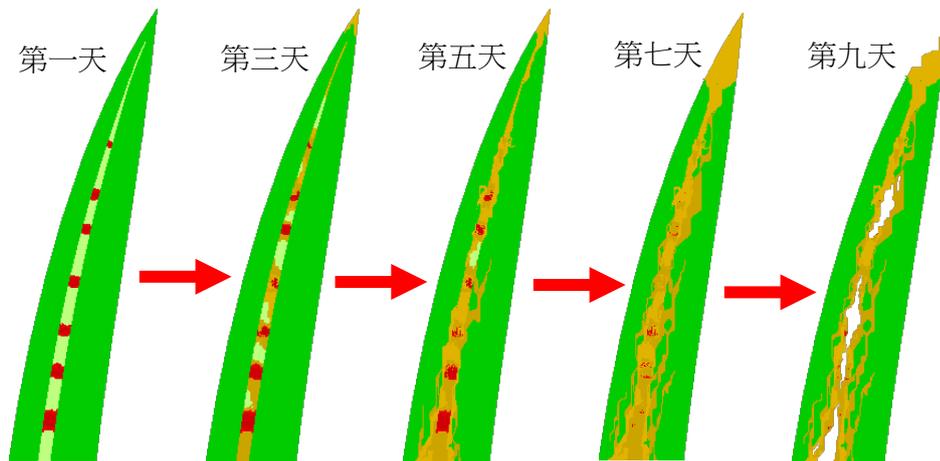
圖十七、編號一實驗變化過程示意圖。

編號二：葉面上呈斑點狀變色，並於第三天到第五天，變色周圍逐漸枯萎，並將變色現象完全覆蓋，當枯萎面積擴散至一定程度時，枯萎葉片則會破裂。

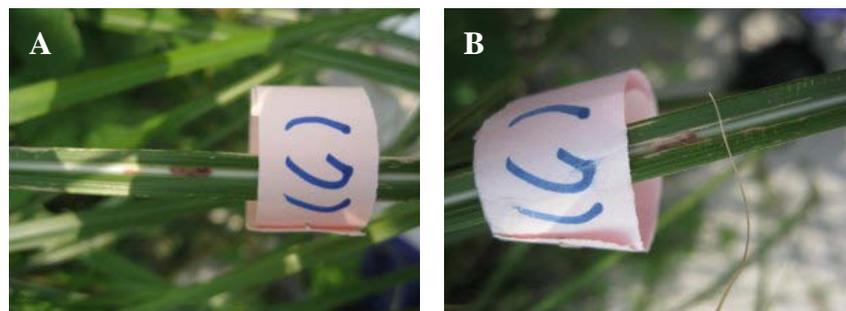


圖十八、編號二實驗變化過程示意圖。

編號三：五節芒葉脈處有規律的點狀變色現象，並至第三天，變色部份周圍會逐漸枯萎，枯萎面積逐日擴大後覆蓋變色部份，並在約第十天時，枯萎部分破裂



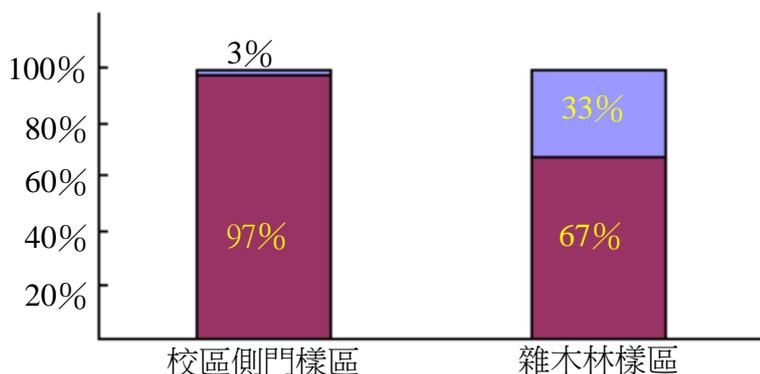
圖十九、編號三實驗變化過程示意圖。



圖二十、五節芒先變色後枯萎。(A：五節芒變色；B：五節芒變色後枯萎)

(七) 觀察昆蟲出現與五節芒變色之相關

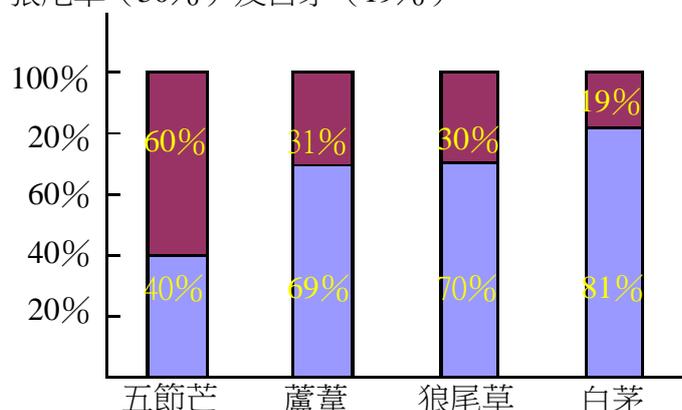
由圖二十一可知，校區側門出現昆蟲的五節芒變色比例較高（97%），雜木林的變色比例則較少（67%），統計後，有昆蟲出現的五節芒變色比例為 79%，而另外 21% 的五節芒未變色，因此推得，昆蟲較常停留在有變色五節芒上。



圖二十一、兩樣區之五節芒變色比例與昆蟲出現比例。(紅色：有變色五節芒，藍色：無變色五節芒)

(八) 其他禾本科植物與五節芒變色株數之比較

由圖二十二可知，在蘆葦、狼尾草、白茅及五節芒四種禾本科植物中，單株葉變色比例最高的為五節芒（60%），其次為蘆葦（31%），變色較少的則是狼尾草（30%）及白茅（19%）。

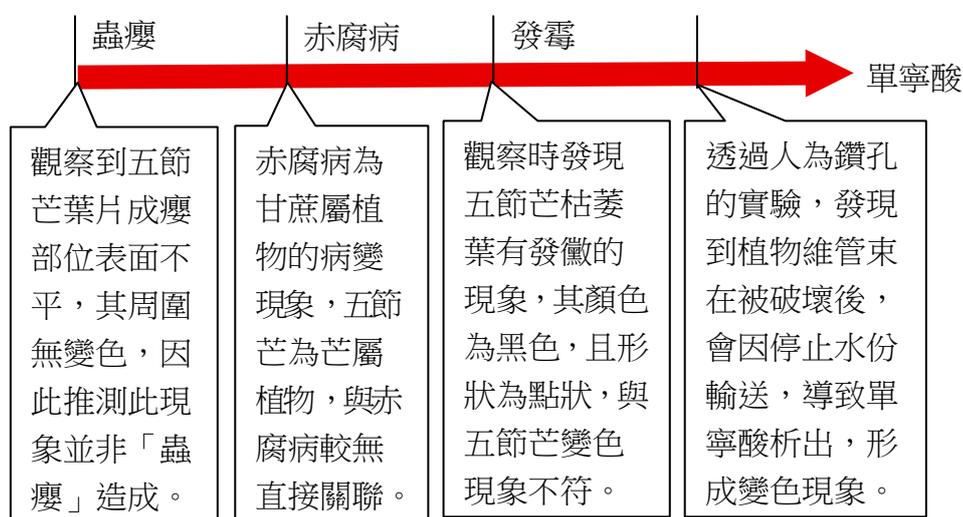


圖二十二、比較其他禾本科植物與五節芒變色比例結果圖。(紅色：有變色比例，藍色：無變色比例)

三、探討五節芒變色之成因。

(一) 查詢文獻並比較變色現象之成分

五節芒的維管束受到破壞後，會影響到水分的運輸，而單寧酸在水分較少的情況下會析出，因此推測五節芒變色現象與單寧酸的關聯性較大。

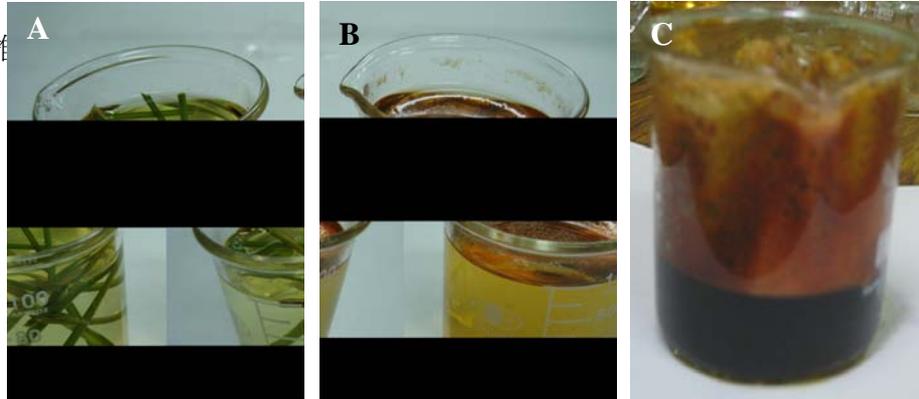


圖二十三、推測變色成因過程圖。

(二) 檢驗單寧酸

由實驗結果發現，有變色現象之五節芒經檢測後，與純化單寧酸檢測結果相同，皆呈現橘紅色，相較於無變色五節芒檢測結果呈淡綠色，可得知變色現象之成份為單寧酸。

圖二十三、推

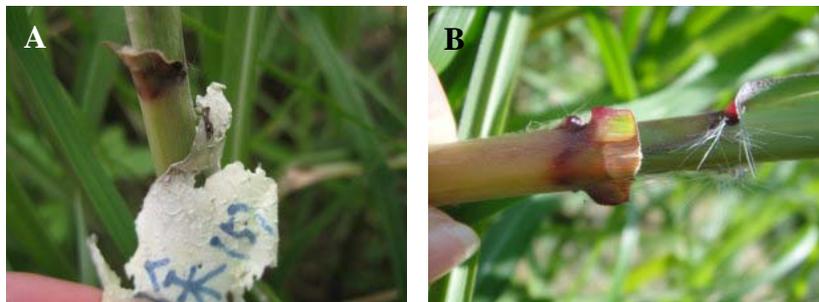


圖二十四、檢測五節芒中有無單寧酸之實驗結果圖。(A：無變色五節芒；
B：有變色五節芒；C：純化單寧酸)

四、探討人為破壞對五節芒生長之影響。

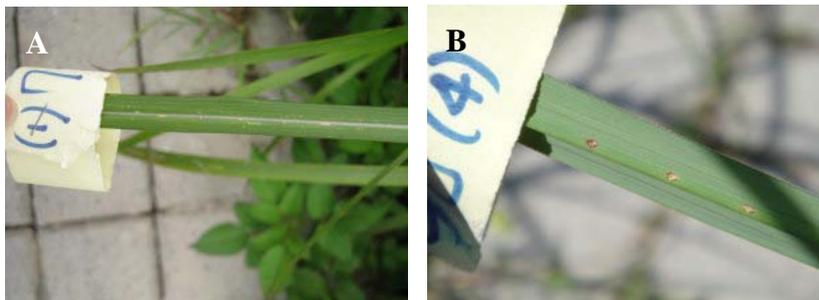
(一) 研究不同破壞方法對五節芒變色之影響

1. 剝除：實驗發現自然生長的五節芒，節部與葉片連接處都有變色情形，且剝除的葉片節部約在三天後出現枯萎的現象，但是斷裂處並沒有持續進行變色。



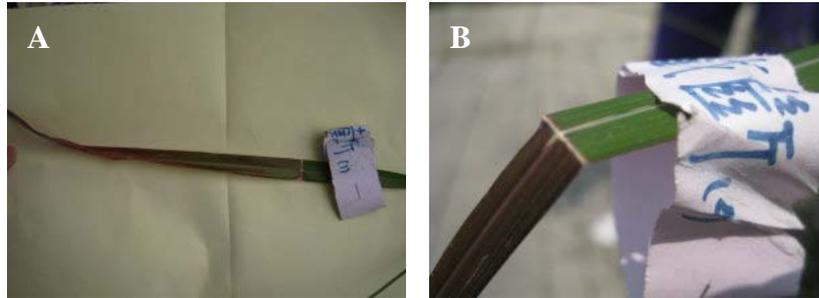
圖二十五、剝除實驗結果圖。(A：剝除結果圖，B：結果放大圖)

2. 鑽孔：實驗中，當鑽孔天數約 2 至 3 天後，即在孔洞周圍產生一圈變色，且變色部份會向周圍擴散，幾天後產生些微枯萎，而後斷裂，此過程約 10 天。



圖二十六、自行鑽孔實驗結果圖。(A：鑽孔結果圖，B：結果放大圖)

3.截斷：由圖二十七可得知，五節芒在受到人為截斷後，同一葉的五節芒之變化將分為兩部份。靠近基部的五節芒並不會受到截斷的影響，而相較於接近尾端的五節芒則會呈現大量的暗紅色。



圖二十七、自行截斷實驗結果圖。(A：自行截斷結果圖，B：結果放大圖)

4.刮除：從圖二十八中，可知五節芒葉肉被刮除後，因為無法支撐住葉尾的重量，自行產生斷裂，在觀察約三至四天後，發現刮痕處會有變色現象，且從刮除部位變色可分成兩端，一端較接近基部，另一端則接近葉尾，靠近葉尾的一端變色現象較於明顯。



圖二十八、刮除實驗結果圖。(A：結果放大圖，B：刮除結果圖)

5.裂縫：五節芒莖部上的裂縫約兩天後，破壞處周圍有變色現象，且於第五天觀察時，發現裂縫沿著維管束向根部延伸增長至約 20cm，但都只有莖部最外層產生裂縫與變色，內部未受破壞處則無其他變化。

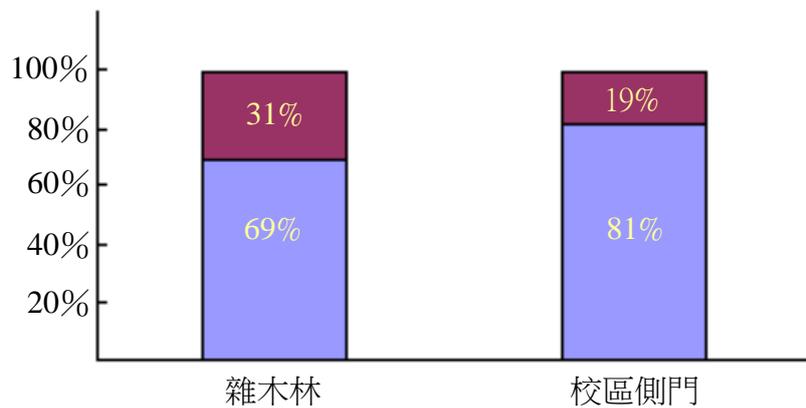


圖二十九、裂縫實驗結果圖。(A：裂縫結果圖，B：結果放大圖)

五、研究五節芒變色的成因。

(一) 探討土壤含水量對五節芒的影響

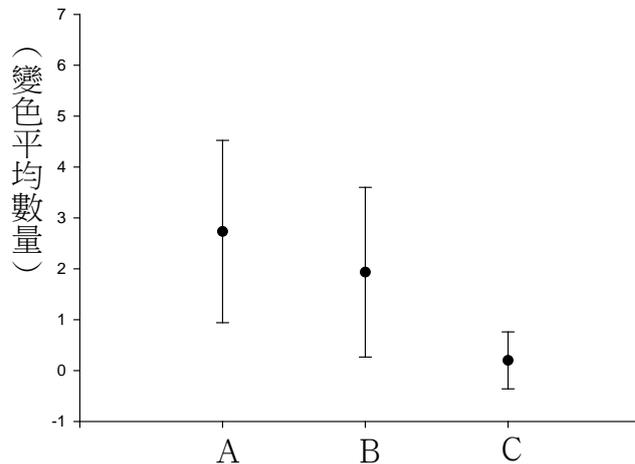
由圖三十可發現，雜木林樣區的土壤及水分比例為 69%和 31%，而校區側門樣區的比例則為 81%與 19%，可知雜木林樣區之土壤含水量較校區側門樣區高，因此推測五節芒變色與水分有一定的關係。



圖三十、兩樣區土壤含水量結果圖。(藍色：土壤含量；紅色：水分含量)

(二) 了解有塗及無塗單寧酸對五節芒變色的影響

由圖三十一發現，標號A且未塗單寧酸的五節芒之變色數量最高 (2.73 ± 0.46)；而標號B的五節芒之變色數量為其次 (1.93 ± 0.43)；但標號C有塗單寧酸的五節芒變色數量明顯較低 (0.20 ± 0.14)，由此發現，有塗單寧酸之五節芒變色現象較不頻繁，可知單寧酸具有阻擋昆蟲破壞的作用。



圖三十一、有塗及未塗單寧酸的五節芒變色數量比較圖。(A：未塗單寧酸也未變色；B：有塗單寧酸且有變色；C：有塗單寧酸及未變色)

(三) 比較不同土質對五節芒生長的影響

依據不同土質選取校區側門、住家旁、人工溼地、以及溼地這四個樣區來做比較，由表三可發現校區的五節芒變色數目大約為 64.6%、住家旁樣區為 67.5%、人工溼地為 60.0%，溼地則為 61.1%，變色數目的比例相差不大，由此推測五節芒變色之因素與土質較無直接的關係。

表三、各樣區變色比例比較表

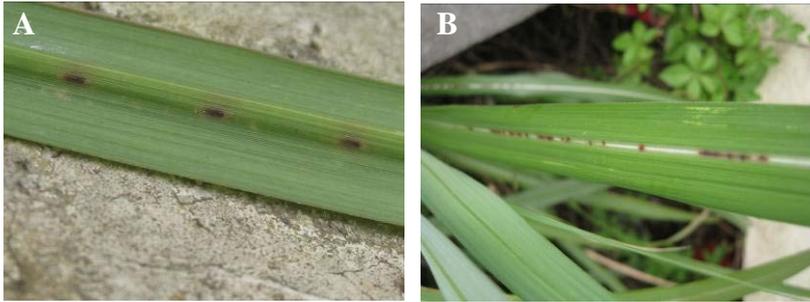
樣區	土質	變色株數比例(%)
校區側門	黑土	64.6
住家旁	砂石土	67.5
人工溼地	黃土	60.0
雜木林	紅土	61.1

六、統合並分析變色現象對五節芒的利弊。

經由以上的實驗，推測五節芒變色是為了防禦外界破壞，而產生出一種現象，也發現到昆蟲對於溶出的單寧酸有迴避的情形，且此現象發生於大部份五節芒，因此認為五節芒的變色是一種遭受環境破壞後所產生的應對機制。

陸、討論

一、在多次的觀察之後，發現到有些五節芒會有規律性的變色，如圖可知，五節芒由葉脈的某處開始變色後，會每隔雷同的距離再變色，形狀多呈斑點狀，且每株變色的間隔距離都不大相同。



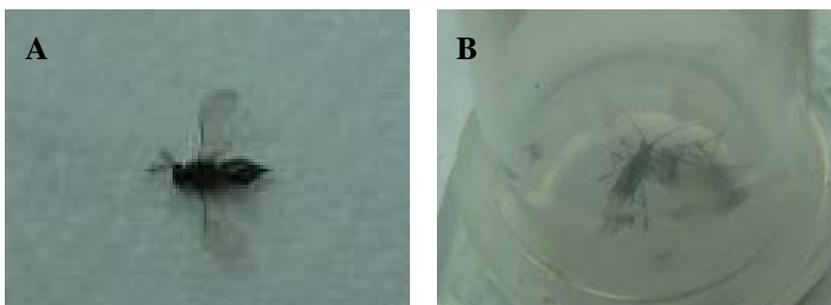
圖三十二、A、B 為五節芒葉片變色情形。

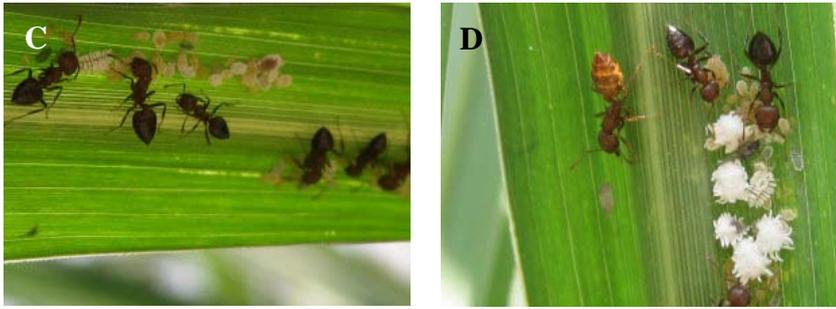
二、起先觀察五節芒變色部位時，都只有以解剖顯微鏡觀察外部變化，之後聽取老師建議，決定改用切片方式，深入觀察維管束內的變色部位，進而探討五節芒變色是位於木質部或韌皮部，而變色現象又與其有何關聯。

三、實驗結果得知五節芒在高度約為 60 公分時，普遍會產生變色情形，推測當五節芒高度約 60 公分後，遭受到破壞的機率增加，因此變色數目較多，於是將 60 公分定為其變色標準，以進行往後實驗。

四、在觀察五節芒時，發現到五節芒枯萎的部分大多為變色部位的附近，且在部分枯萎後，五節芒會由枯萎處折成兩段，大約七天之後五節芒便逐漸死亡，因此我們推測這種現象對五節芒的生長情形較為有害。

五、在收集花芒時，我們將五節芒上的碎屑撥下，看到不少的昆蟲殘骸，查詢過文獻（邱一中，2004）後，確認有寄生蜂、蚜蟲、有翅蚜蟲、褐狂蟻。由圖三十三，我們也發現到褐狂蟻與蚜蟲有互利共生的行為，蚜蟲吸取五節芒汁液的同時，會分泌蜜露給褐狂蟻食用。而我們也查詢了寄生蜂資料，瞭解到寄生蜂會將卵產於蛾的幼蟲體內，但是目前的觀察並未發現到蛾的幼蟲，因此推測蛾的幼蟲可能產在五節芒的孔洞中，進而吸取五節芒的養分，使五節芒逐漸枯萎死亡。





圖三十三、昆蟲活動情形。(A：寄生蜂；B：有翅蚜蟲；C、D：舉尾蟻及介殼蟲)

六、在觀察五節芒變色現象後，我們針對顏色、氣味、特性等特徵與文獻比對，曾認為是蟲癭、赤腐病、發黴、氧化及單寧酸等現象造成。

表四、推測五節芒變色現象之依據。

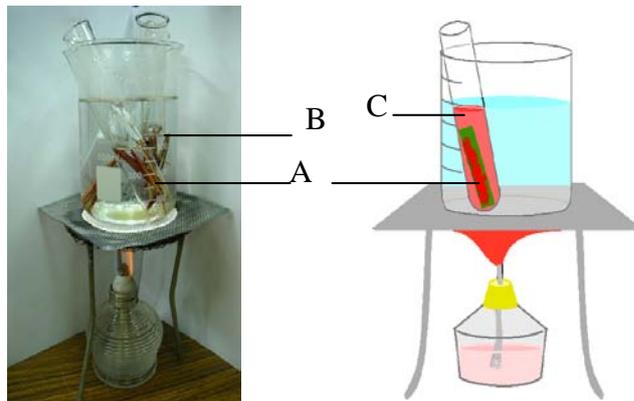
蟲癭	赤腐病	發黴	單寧酸
蟲癭為植物被蛀入時，表面不平整，且植物顏色出現改變的現象，曾於變色五節芒上觀察到類似的情形，因此認為五節芒變色是蟲癭造成的。	是指植物體受到破壞後被細菌感染，使被破壞處形成紅色，其變色情形與五節芒有相似點，推測五節芒變色是受到破壞後，感染形成的。	常在五節芒上觀察到蚜蟲，而其分泌的蜜露利於黴菌生長，臺地也屬於潮濕氣候，使植物體發黴機率提高，因此認為其變色是黴菌侵入所致。	文獻中(網路擷取)顯示單寧酸為植物鹼的其中一種成分，且單寧酸在缺水的情況下會析出，呈現紅色晶體。

七、在查詢資料時，發現赤腐病與五節芒變色現象有相似之處，分別為：赤腐病的植物葉狀體上有紅色小斑點，且會擴散，在遇到酸鹼的作用時，細胞內部不會發生顯著變化，而病斑四周成紅黑色，中部黃白色，且略有凹陷現象。但文獻提及到當土壤過分潮濕時容易引起赤腐病，這與我們所進行的實驗結果不符，也在破壞的實驗中發現，人為破壞也會造成五節芒變色，因此認定五節芒變色現象與赤腐病較無直接關聯。

八、經酒精隔水加熱法溶解五節芒變色片段，發現約 10 至 15 分鐘後，會逐漸溶解出紅色溶液與葉綠素，測得其 pH 值為 7.5、鹽度為 18%；且有另外溶解無變色五節芒的葉綠素，經過測量後得知，其 pH 值為 7.0、鹽度則是 17%，由此數據推得，五節芒變色後，鹽度並無改變。



圖三十四、五節芒變色部份加熱後，溶解示意圖。



圖三十五、溶解變色五節芒實驗示意圖。(A：變色五節芒片段；B：藥用酒精；C：溶解出的液體。)

- 九、經過多次的溶解實驗，發現到枯葉比嫩葉較容易溶出紅色色素，推測是因為枯葉所溶出的溶液較無葉綠素干擾，但是為避免由枯葉溶出的溶液有其他多餘的物質，影響檢測的結果，因此嘗試用生物課本中提到的方法，以鋁箔包住變色部份，讓此這區塊的葉綠素含量降到最低，三天後再取下做溶解實驗。
- 十、從自行鑽孔的實驗中，推測五節芒之所以會沿著鑽孔周圍產生變色，是因為其遭受到破壞後，為防止本身再次受到外界侵蝕內部，而產生此變色現象，擴大面積，減低破壞機率。
- 十一、從人為鑽孔的實驗可知，五節芒的節部是因彎曲導致水分不易運送，造成折痕處呈現變色，而單片葉子枯萎，並不會影響到同一株中其他五節芒葉片之生長。
- 十二、剛開始，以不同的水量澆於樣區的五節芒，以不同的水量栽種，觀察是否會影響到五節芒的變色情形，但是後來因考量到水分會藉由土壤散失到其他地區，不能確保所澆的水能全被實驗組的五節芒吸收，因此，改以移植到盆栽的方式來進行實驗，較能控制被吸收的水量。
- 十三、在探討五節芒變色對昆蟲破壞之影響時，原先是直接將溶出的單寧酸溶液塗抹於五節芒植株的表面上，觀察昆蟲是否有迴避的現象，卻因昆蟲的活動範圍廣泛，不易控制變因，因此，將實驗改至飼養箱進行，取下有變色及無變色的五節芒，摘下的部份包括葉、節和莖，並分別放入不同昆蟲種類，重覆以上實驗步驟，觀察其活動情形。
- 十四、在觀察五節芒變色部位時，發現葉脈上常有昆蟲出現，推測是昆蟲常在覓食時破壞葉脈組織，造成此部位變色比例較高。而莖的變色比例最少的可能原因為莖包覆在葉鞘內，昆蟲出現比例及相關破壞明顯較少，因此出現變色比例比其他部分來的少。
- 十五、由有塗及未塗單寧酸之實驗，可得知昆蟲對於植物中的單寧酸與純化單寧酸皆有迴避行為，因此證實五節芒的變色現象為一種防禦本身再進一步遭受外界破壞的機制。

十六、在野外進行觀察五節芒先變色部位時，起初設計以攝影機持續觀察五節芒的生長情形，但經過實地觀察後發現，若用攝影機是無法清楚拍攝到整株五節芒的生長動態，因此改用移植的方式，將五節芒種植在盆栽中，近距離且長時間的直接觀察。



圖三十六、五節芒的葉脈遭破壞後斷裂成兩段。

十七、在進行五節芒移植實驗時，起先是打算把盆栽放入壓克力盒來防止其他昆蟲進入，以便進行實驗，然而因考量澆水與空氣流通等問題後，最終採用了便利且成本較低的塑膠袋來代替壓克力盒。

十八、在探討五節芒變色因數的實驗中，原先已採集樣區中的五節芒進行實驗，但考慮到五節芒可能在肉眼無法觀測的地方產生變色或鑽孔，於是決定改以從種子開始，自行栽種五節芒做為實驗對象。第一次嘗試以種子栽種，連續兩星期的澆水及觀察後，依然不見五節芒的種子有發芽的跡象，於是改以插枝的方式種植。我們剪下莖節部分種入土中，發現五節芒約三天後出現枯萎並死亡，無法順利進行實驗。

柒、結論

五節芒為禾本科植物中變色頻率最高的植物。其變色主要受土壤含水量與被破壞情形影響。變色五節芒的表面出現不規則長條、斑點或大面積的紅色變色情形，變色部位為節、莖、葉緣、葉脈的維管束及周圍葉肉，且多由節部開始變色。根據實驗結果可知，五節芒在遭受昆蟲破壞、人為破壞或是自然斷裂枯萎時，被破壞部份的水分運輸會受到阻礙，導致單寧酸析出，產生變色，也發現昆蟲對單寧酸會產生忌避行為，因此推測五節芒變色現象是屬於有利生存的適應結果。

捌、參考資料

一、期刊論文

- (一) 石正人、邱一中、吳文哲、陳淑佩、翁振宇。 2004。 利用 RFLP 技術快速鑑定台灣進口農產品中常見的介殼蟲 (同翅目：介殼蟲總科)。 台灣昆蟲。 24。 159-171。
- (二) 李瑞宗。 1995。 臺灣芒屬植物的族群與其在民族植物學上角色之研究。

二、書籍

- (一) 林宗聖。 陽明山十大傳奇。 人人出版。 2000。
- (二) 林豐正。 臺北縣生物鄉土教材植物篇。 初版。 板橋市。 臺北縣政府。 103。 1987。
- (三) 張碧員、張蕙芬。 臺灣野花 365 天秋冬篇。 初版。 臺北市。 大樹出版。 113。 1997。
- (四) 陳倬民。 臺灣野生草本植物。 初版。 臺中縣。 臺灣省政府教育廳出版。 1987。
- (五) 黃語忻。 植物之謎。 京華出版社。 2004。
- (六) 楊文章。 陽明花語。 初版。 臺北縣汐止市。 上河文化出版。 277。 2007。
- (七) 羅家祺。 台灣野花春夏秋冬秋冬篇。 初版。 臺北市。 田野影像出版。 2002。
- (八) 蘇成田。 草木。 第三版。 臺東縣。 東部海岸國家風景區管理處出版。 1997。

三、網路資料

- (一) http://www.ymsnp.gov.tw/web/webpage.aspx?f=data_file/plant93/plant93_c3-008.htm
五節芒陽明山國家公園。
- (二) http://etds.ncl.edu.tw/theabs/site/sh/detail_result.jsp?id=090NTNU0112003
五節芒。 台灣博碩士論文資訊網---江友中。
- (三) <http://subject.forest.gov.tw/species/vascular/5/index-1.htm>
五節芒。 臺灣植物維管束簡誌。
- (四) http://www.fgs.org.tw/master/master_A/books.delectus/discourse/14.htm
單寧酸與昆蟲之關聯。

【評語】 030313

- 1.針對五節芒做非常深入的分部調查及觀察。
- 2.研究五節芒變色有明確結論。
- 3.宜對含水量對變色的影響再進一步探討，並考慮單寧酸氧化變紅的因素。