

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

040713

國立宜蘭高級中學

指導老師姓名

余宛真

作者姓名

楊勝文

江重威

第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別： 生命科學科

組 別： 高中組

作品名稱： 生命的曲線

關 鍵 詞： 維管束、蒴果爆破、捲鬚與向觸性

編 號：

生命的曲線

一、摘要：

芹菜葉柄切片，非洲鳳仙花果實進行自力散佈種子的爆破，變態莖形成捲鬚均有捲曲現象。這些看起來似乎不相干的現象，其實都和細胞及組織型態構造改變所造成的物理現象有關。

從芹菜葉柄縱切薄片捲曲的探討中我們得知---薄壁組織吸水，經由增大膨壓，使細胞延長，並產生足夠的力量將維管束拉長。當維管束被拉長超過極限，維管束彈性縮回造成薄片的捲曲。

非洲鳳仙花蒴果的爆破機制---當果實成熟時，果瓣外層細胞有縱向增長的趨勢，果瓣內層的維管束不易增長，被動的被外層細胞拉長，內外側之間暫時維持張力的平衡，而保持果實的型態；當受外力改變平衡狀態或維管束的回復力夠大時，外側膨脹伸長(膨壓改變造成細胞變形)加上內側維管束的彈性縮回，使果瓣捲曲並產生彈力將種子彈出。

龍鬚菜捲鬚的機制---變態莖內厚角組織和維管束分布在特定部位，維管束的收縮和兩側細胞延長程度的差異，造成扭曲的物理力量，進而形成捲鬚；變態莖頂點生長組織的存在與否並不影響捲曲，證明生長激素並非捲鬚的必要因素，捲鬚並非典型的向觸性。

二、研究動機

去年我們曾針對鳳仙花蒴果爆破做探討，發現鳳仙花蒴果爆破時，果瓣捲成圓圈狀；之後經過仔細的觀察，發現蒴果果瓣裡有一束一束明顯的維管束。而後又觀察到龍鬚菜等的捲鬚及泡水後芹菜葉柄的捲曲。這些不同的植物，不同的部位，捲曲的方式幾乎如出一轍。而它們也都有一個共通點---分佈不均勻的維管束。到底維管束是否具有彈性，而它是否能影響、如何影響植物的運動，是我們想深入探討的。

三、研究目的

- (一)芹菜葉柄切片捲曲機制的探討
- (二)非洲鳳仙花蒴果爆破機制的探討
- (三)龍鬚菜捲鬚捲曲機制的探討

四、研究設備及器材

芹菜、非洲鳳仙花(：*Impatiens walleriana* Hook f)、龍鬚菜(*Sechim edule Sw*)，顯微鏡、數位照相機、刀片、針、廣告顏料(油漆)、尺、膠帶

五、過程與結果

I-葉柄切片捲曲機制的探討

實驗一芹菜葉柄切片的捲曲

(一)目的：

證明維管束和捲縮有關，且有彈性。

(二)方法：

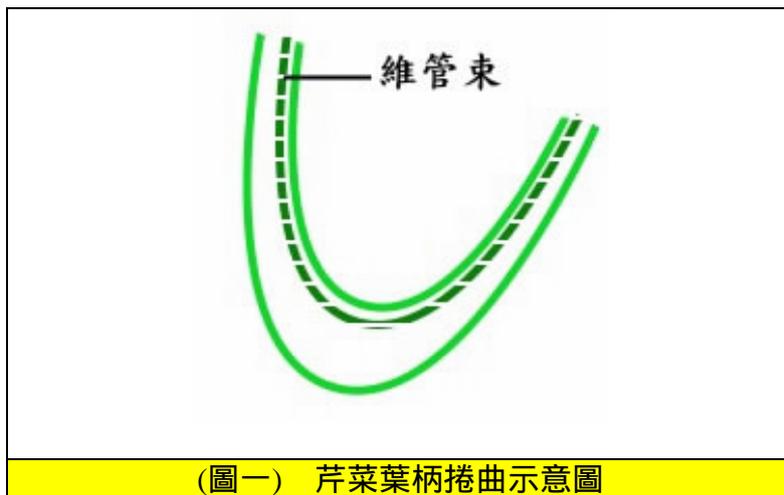
- 1 將芹菜的葉柄縱切成薄、長切片，分為兩類：甲-維管束在一側，乙-維管束在中間，切下後丟入水中，觀察切片的變化。
2. 將芹菜的葉柄縱切成維管束兩邊細胞厚度相同的薄片。
3. 量下長度後放入水中。
4. 過 5 分鐘後取出量取長度。
5. 將維管束兩側的細胞切掉。
6. 約 5 分鐘後，觀察維管束的變化。
7. 將一束維管束挑出，量取長度後泡入水中，作為對照組。

(三)結果：

甲- 莖的切片不管維管束是在左側或右側必會朝向含有維管束的方向捲曲。

(圖一 芹菜葉柄捲曲示意圖)

乙- 此種切法並不會發生捲曲，而只是細胞吸水脹大長度延長。



2. 周圍組織吸水膨脹後，維管束會隨著細胞增長而增長，當兩旁的細胞切除後，維管束又會恢復到原來的長度(見表一)

表一：維管束的延長							
	第 1 組	第 2 組	第 3 組	第 4 組	第 5 組	第 6 組	對照組
原始長度(cm)	8.00	7.00	7.50	10.00	6.00	4.00	8.00
泡水 5min 後長度(cm)	8.22	7.17	7.71	10.28	6.16	4.10	8.00
切除周圍組織後長度(cm)	8.00	7.00	7.50	10.00	6.00	4.00	×

(四)討論：

1. 切片向有維管束的一邊捲曲，證明維管束和捲縮有關。
2. 周圍組織吸水膨脹後，維管束會被拉長，當兩旁的細胞的切除後，維管束又會恢復到原來的長度。表示維管束是富有彈性的，改變原本我們對維管束是死細胞且又硬梆梆的觀念。

II-非洲鳳仙花蒴果的捲曲探討

實驗二之 1 非洲鳳仙花蒴果爆破模式

(一)目的：

瞭解蒴果成熟度、外型構造和爆破的關係及爆破的模式。

(二)方法：

1. 觀察蒴果基本外型。
2. 觀察爆破的模式-用手指施力擠壓，延緩果實爆破的過程。紀錄爆破的方式、位置、順序等。
3. 記錄蒴果的長寬比和爆破的關係-將蒴果放在彈簧秤上，以牙籤在蒴果中段以 80gw 的力量下壓，紀錄蒴果爆破的比例。
4. 歸納蒴果成熟度、外型構造和爆破的關係。

(三)結果：

1. 蒴果外型變化：

果實成熟過程依果實形狀可分為三個階段，請見 (圖二 蒴果成熟時形態變化)



蒴果成熟時型態變化

果實長寬比	初生期(上)	青春期中(中)	成熟期(下)
以 80gw 施力爆破的比例	0 : 20=0 %	12 : 20=60 %	19 : 20=95 %

(圖二) 蒴果成熟時型態變化

2. 爆破的模式：

當果實成熟且受到一定壓力時，會從第 1 和第 5 瓣向左右兩側爆開，五瓣展成一平面，然後迅速的向內捲回 (圖三 蒴果爆破過程)，彈出裡頭的種子。



(圖三) 蒴果爆破過程

(四) 討論

1. 果實在成熟過程中，型態從長型轉變為中段變寬、變厚的長紡錘狀，此時只要極輕微的力量即可使蒴果爆破，初生期長條形的蒴果即使施力超過 200gw，仍無法破裂，即爆破和果實型態有密切關聯。
2. 爆破時先向兩側裂開，再縱向由外向內捲縮。

實驗一之 2 非洲鳳仙花蒴果內的彈力構造

前言：由於鳳仙花爆破的模式是：向兩側分開後再迅速由外向內捲，我們推測：果瓣內層有橫向和縱向兩種可收縮的構造，內層的收縮加上外層的擴張而產生爆破；所以我們用破壞假想中的彈力構造和解剖內部構造的方式來驗證。

(一) 目的：

瞭解果實內側是否有橫向和縱向彈力構造。

(二) 方法：

- 1.用刀片在成熟期果實上做橫向、縱向切割，觀察紀錄其爆破情形。
- 2.取初生期(長條形)、青春期(橢圓形)、及成熟期(爆裂形)三種蒴果的果瓣，做縱切及橫切以顯微鏡觀察內部構造。

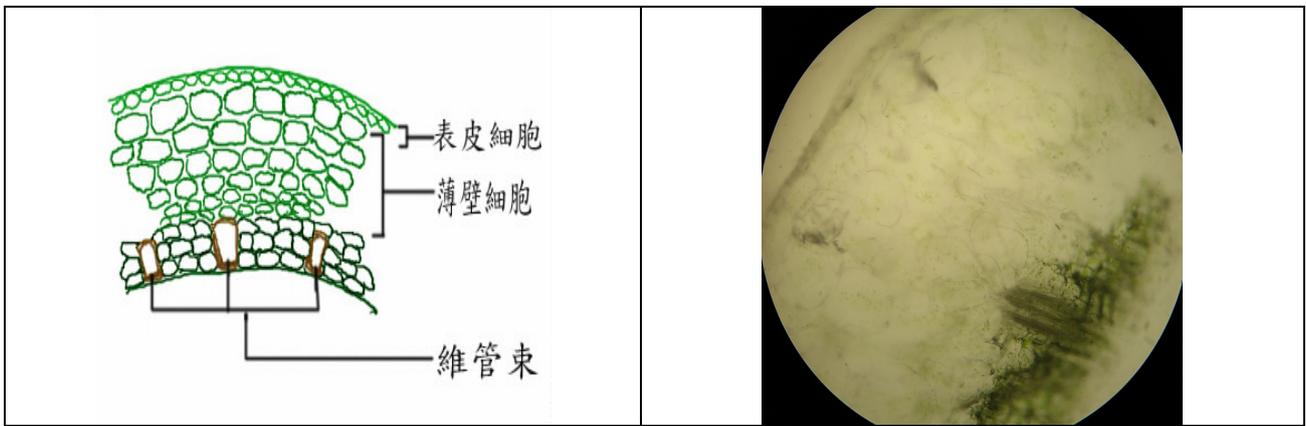
(三)結果

1.由物理破壞發現：

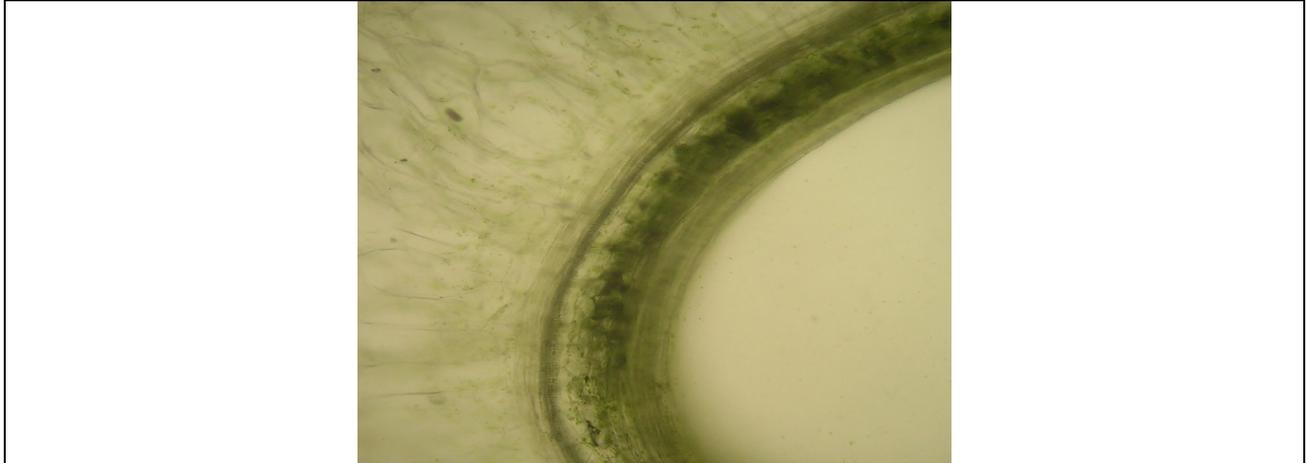
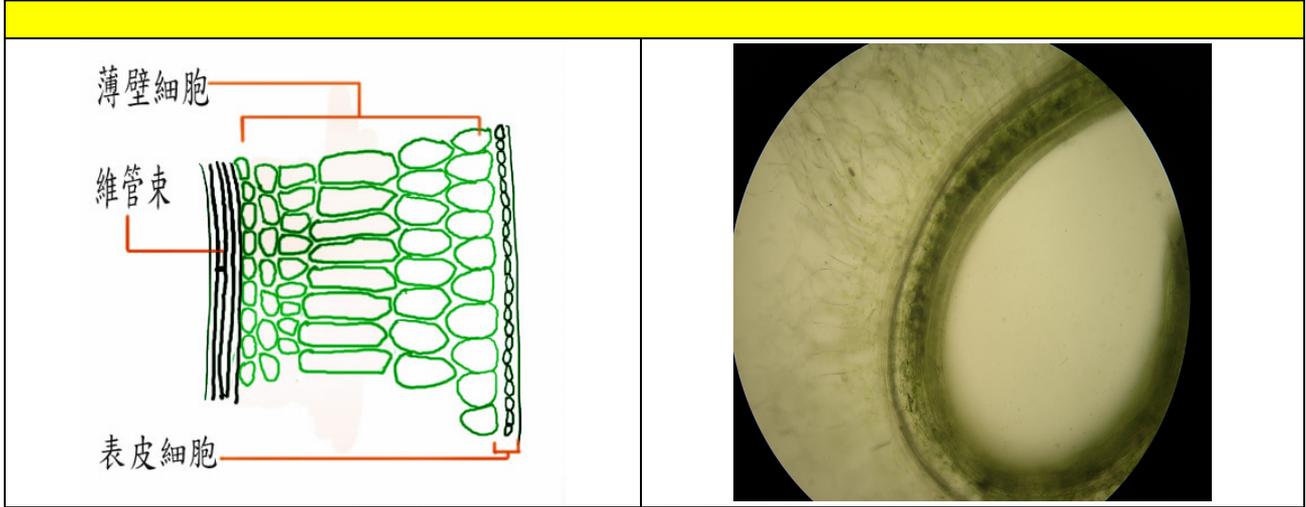
- (1)縱切破壞假定的橫向彈力絲，並不影響爆破，極可能無橫向彈力絲存在
- (2)每一瓣都橫切破壞想像中的縱向彈力絲則無法爆破，證明真的有縱向彈力絲存在。(圖四 各種切法對爆破的影響)

			
切法	上下段各橫切一條 (破壞縱向絲)	在不同瓣做縱切 (破壞橫向絲)	上中下段各橫切一條只留第三瓣未切
結果	無法爆破	從縱切處及 1、5 瓣之間縱裂開，並從 1、5 瓣處往上捲	切口處向內捲但不會爆開
			
切法	正中橫切成上下兩段	橫切成前後兩段 (前大後小)	橫切成前後兩段 (前小後大)
結果	後半部(尾端)未爆,前(蒂端)半部爆裂	後半部(尾端)有的爆裂,有的未爆前(蒂端)半部皆爆	後半部(尾端)未爆,前(蒂端)半部爆裂
(圖四) 各種切法對爆破的影響			

2.切片觀察：請見(圖五 果瓣橫切、縱切照片及示意圖)



說明	橫切示意圖	橫切顯微照片
外層為較大的薄壁細胞，越靠近維管束的細胞則越小，每瓣中間維管束最粗，兩側漸漸變小，每瓣約有 5~7 條。		



說明	縱切示意圖	縱切顯微照片(內層維管束及其放大)
在內層可發現縱向的維管束，細胞越靠近內層則越小越緊密。		

(圖五) 果瓣橫切、縱切照片及示意圖

(四)討論

1 從切片發現果實內側有縱向維管束分佈，外側則是充滿水分的薄壁細胞，不具

有維管束，我們推測當果實漸漸長大，外側細胞充水延長，可是內層卻因為有維管束，無法如外層般的延長，內外側延長程度不同。

2. 兩邊延長程度的差異可能造成捲曲，但實際上果瓣並沒有彎曲生長，可見內側維管束可抵擋外側延長造成的壓力，兩力彼此平衡而形成僵持狀態，維持果實的型態；當維管束被拉長到一定長度，累積足夠的恢復力，此時外力刺激將解除拉力，維管束就像彈簧一樣會瞬間捲回將種子彈出，造成果實瞬間爆裂的力量。

實驗二之 3 非洲鳳仙花蒴果爆破前後長度的改變

前言：根據實驗一的結果，我們推測爆破來自外層的伸長及內層的收縮，所以我們設計實驗，實際檢測內外側的長度，以瞭解爆開前後真正的長度變化。

(一)目的：

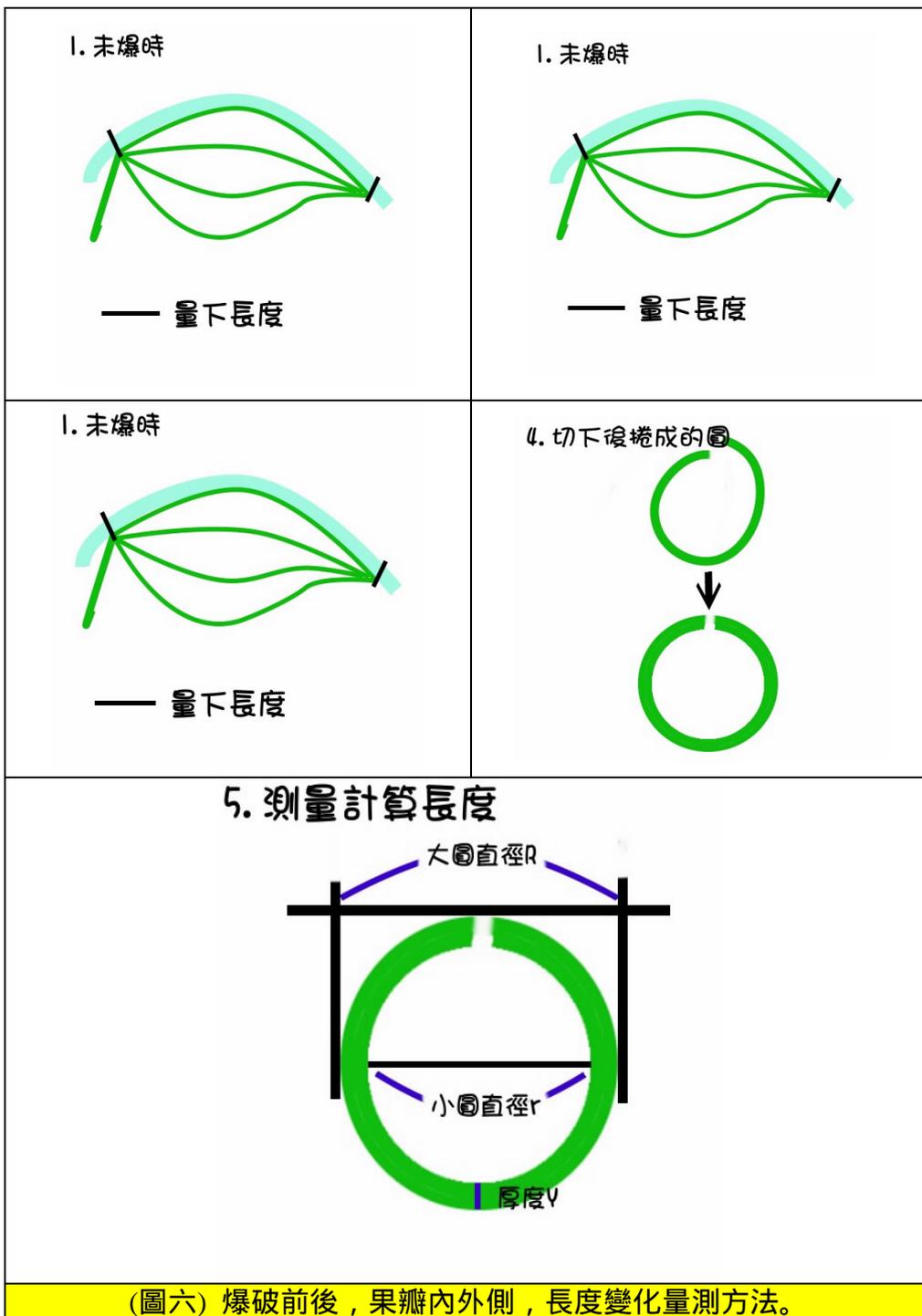
瞭解爆破時是否內側收縮而外側延長。

(二)方法：

1. 在果瓣上做縱向記號，量出記號的長度。
2. 讓蒴果爆破，量出爆破後記號的長度，算出增長比例
3. 剪下爆破後所形成的完整圓圈
4. 量出外圓的直徑，果瓣的厚度(算出內圓的直徑)
(圖六 爆破前後，果瓣內外側長度變化量測方法)
5. 依同心圓週長和半徑關係換算當外圈伸長時內圈是否縮短

$$\text{縮短比例}(z) = \frac{(R-2y)}{R(1-x \%)}$$

R=外圈直徑 x=外側增長比例 Y=果瓣厚度



(三)結果

- 1 外側平均伸長比例= 6%~11%
- 2 內側平均縮短比例= 36%~57%

表二：果瓣爆破前後長度變化						
	1	2	3	4	5	6
(原)長度	2.600	2.440	2.300	2.670	2.510	2.510
(後)長度	2.808	2.538	2.484	2.884	2.711	2.725
外側增長比例(x)	9%	11%	6%	8%	10%	9%
外圈直徑(R)	0.500	0.320	0.480	0.440	0.490	0.483
外圈長度	1.571	1.005	1.508	1.382	1.539	1.518
切下小圓推算長度	1.429	0.894	1.417	1.271	1.385	1.400
果瓣厚度(Y)	0.100	0.100	0.097	0.103	0.110	0.111
內圈長度	0.942	0.377	0.898	0.735	0.848	0.820
內側縮短比例 (z)	37.0%	57.8%	36.1%	42.2%	38.7%	38.4%

(四)討論

- 1.從以上的結果證實了我們的推測，鳳仙花外側的細胞在爆裂後確實有伸長的狀況，增幅為 6 % ~11 % 的。
- 2.內側細胞的確是縮短的，而且縮短比例最高可達 57.8%。這證實如果只是膨壓改變造成外側細胞伸長，不足以造成捲縮，而是內側的收縮，牽動強而有力的捲縮爆破。

實驗二之 4 鳳仙花果瓣捲縮的力量來源

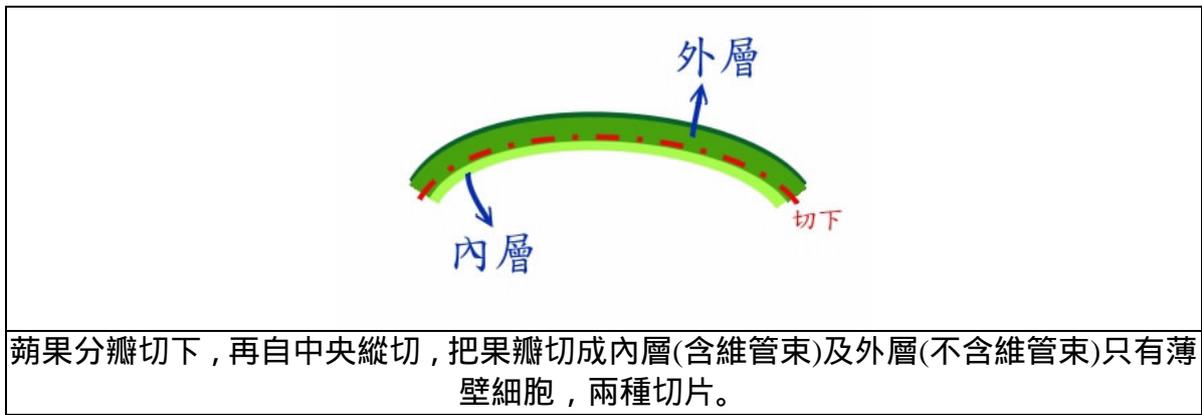
(一)目的：

證明鳳仙花的爆破源自於內側維管束。

(二)方法：

- 1.將青春期末爆破的蒴果分瓣切下，再自中央縱切，把果瓣切成內層(含維管束)及外層(不含維管束)只有薄壁細胞，兩種切片(請參考切法示意圖)
- 2.將切片置於玻片上，並用顯微鏡觀察。
- 3.將水滴在切下的組織上，使切片泡在水中。
- 4.觀察切片組織的變化，並用顯微鏡觀察有無不同。
- 5.以已爆破捲曲之蒴果重複步驟 1~4 的步驟。

表三：切法示意圖



(三)結果：

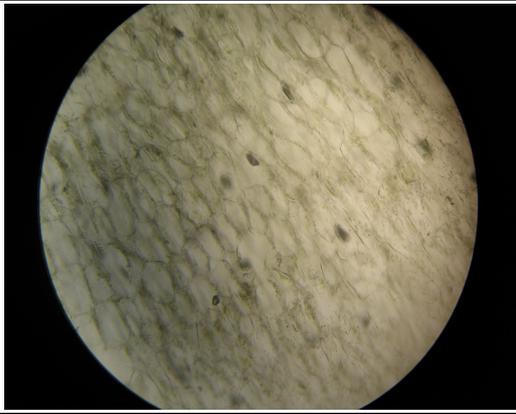
1. 青春果果瓣縱切片(泡水前)

表四：青春果果瓣縱切片(泡水前)	
內層捲曲，外層平直	果瓣內層切片
內層捲曲，外層攤平	內層有維管束，束間的薄壁細胞扁平、縱軸遠小於橫軸(成壓扁狀)

表五：果瓣外層切片(泡水前)	
表皮細胞	薄壁細胞
細胞較扁長	細胞較圓胖

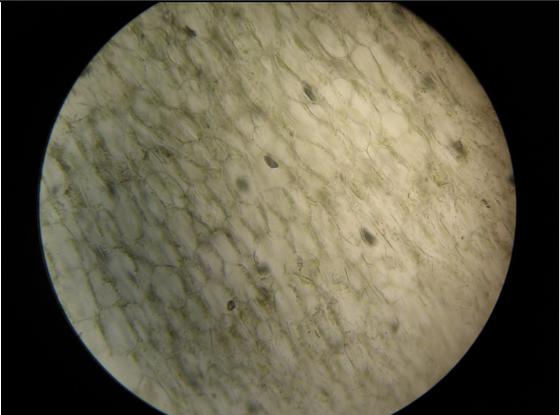
2. 青春果果瓣縱切片(泡水後)

表六：果瓣外層切片(泡水後)	
表皮細胞	薄壁細胞

	
細胞縱向擠壓，排列較凌亂	細胞較圓胖

3. 成熟期果瓣(已爆破)，縱切片(泡水前)

表七：果瓣外層切片(泡水前)

表皮細胞	薄壁細胞
	
細胞縱軸被拉長。	細胞最為圓胖。

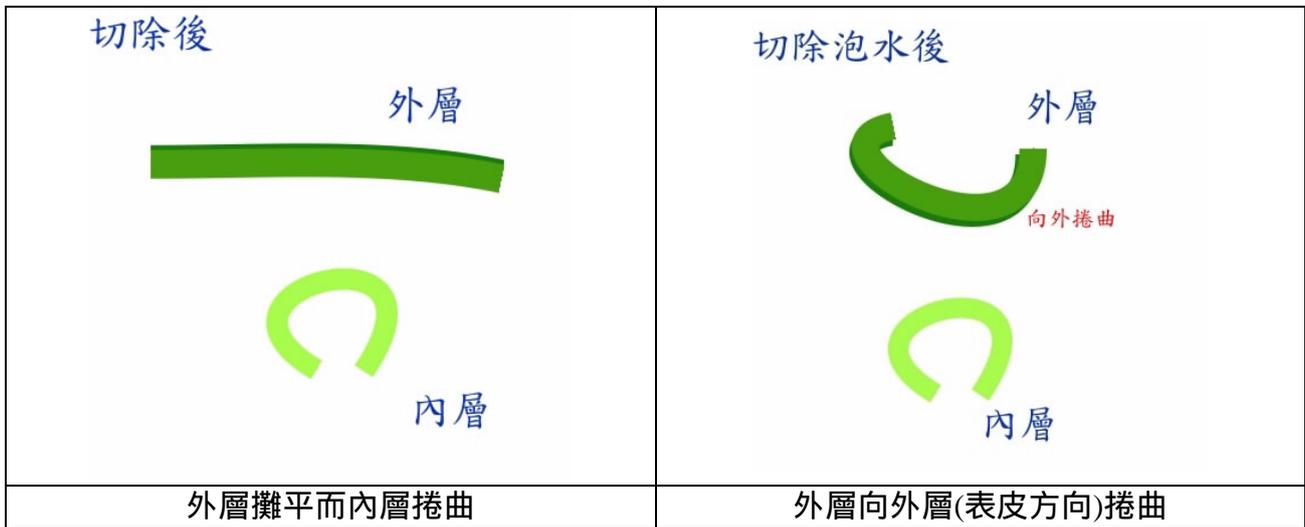
4. 成熟期果瓣(已爆破)，縱切片(泡水後)

表八：果瓣外層切片(泡水後)

	
表皮細胞和泡水前相似。	薄壁細胞明顯的大而圓胖

5. 示意圖

表九：切片變化示意圖



(四)討論：

1. 青春期蒴果(未捲曲)切片，內層有維管束的部份自動捲曲，可見維管束的確有彈性。
2. 青春期蒴果切片的外層原不捲曲，在泡水後發生捲曲，但其捲曲方向為由內向外捲，和果瓣由外向內捲不同，可見單純薄壁細胞吸水脹大，其彎曲方向應為向外(外層表皮有角質層不易吸水，所以膨大比例較小)；而果瓣會反方向捲曲，的確是因內側有縮短的力量，即維管束的收縮。
3. 成熟期已捲曲的果瓣，經順向做縱切後，外層切片反而成伸直的平直狀，可見外層組織的彎曲，是內層的拉力造成的，只要除去拉力即恢復原形。外層在加水後也不會捲曲，推測是因為(1)原來的捲曲已使外側細胞伸長至極限(2)收縮使薄壁組織結構鬆散，即使另一側擠壓亦因缺乏整體力量而無法呈現彎曲(3)收縮使角質層出現縫隙，因此加水後表皮也可能吸水使內外側長度的差異減少而失去捲曲的功效。

III-捲鬚的機制

實驗三之 1 各種捲鬚的觀察調查

(一)目的：

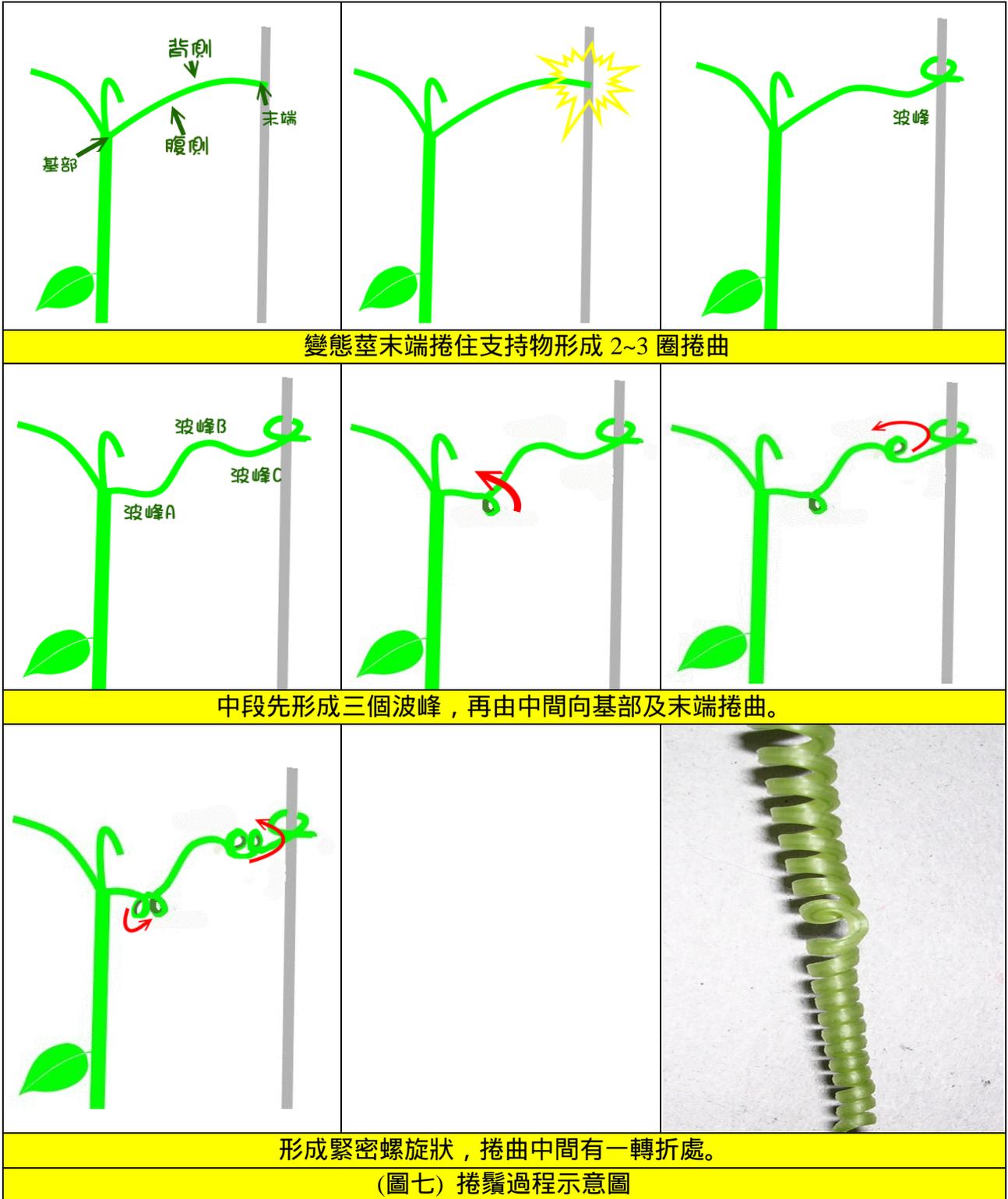
觀察捲鬚的各種模式作為推測纏繞機制的依據。

(二)方法：

1. 觀察菜園中龍鬚菜捲鬚的捲曲模式。
2. 觀察的重點為：捲鬚的位置、形成的順序、方向(順或逆時針)變化所需的時間，外型變化等。
3. 在室內栽培龍鬚菜，進行各項刺激，觀察捲鬚形成的方式。

(三)結果：

1 捲鬚的模式及過程：請見(圖七 捲鬚過程示意圖) (圖八 捲鬚過程照片)





2 捲鬚和刺激的關係

- (1) 不管有無支持物都能形成捲鬚，但在無支持物情況下捲鬚(自捲)較大圈且無規則，但仍為由背側向腹側捲曲。(圖九 無支持物時的自捲)
- (2) 有支持物的捲曲形成後逐漸木質化留在植株上；無支持物的捲曲形成後，逐漸枯萎脫落。
- (3) 以細鐵絲或木棒在變態莖末端腹側來回摩擦，甚至拉扯，末端迅速在 3~5 分鐘內形成捲圈；末端捲鬚固定後，搖晃支持物或植株(多次，每次約一分鐘)，使中間波段受到拉扯，則約 1 小時即可形成 A、B、C 三個大波段。
- (4) 相同方式刺激，只是刺激部位為背側，則不出現捲曲。
- (5) 將變態莖調整成和地面垂直(向上或下垂)，或平行(腹側向下或向上)捲曲模式不變。(圖九一 在末端進行刺激)



(圖九) 無支持物時的自捲

(圖十) 在末端進行刺激---敲動拉扯捲鬚

(四)討論：

1. 不管有無支持物或刺激只要長到一特定長度即會進行捲曲，支持物或刺激只是加速捲曲速度的非必要因素；在室外生長時，捲曲的速度較快可能就是因为風吹，動物爬動的刺激。
2. 捲曲的形成並非由內向外或由外向內依序形成，而是在末端固定後，先捲出大波浪，再由中間分別向左，向右捲曲。
3. 拉扯刺激時，末端能在極短的時間內形成捲鬚，且捲鬚一定由背側向腹側捲曲，中段捲鬚的完成時間可由一週縮短為一天。
4. 綜合以上結果，我們判斷捲鬚不是典型向性，而是：變態莖的腹側有具彈性的構造(即維管束)，受刺激時(如用鐵絲拉扯或末端捲曲固定)能收縮，使背側拉長或生長加速，而造成捲曲。

實驗三之 2 捲鬚的切片觀察

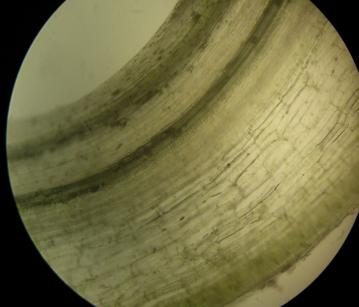
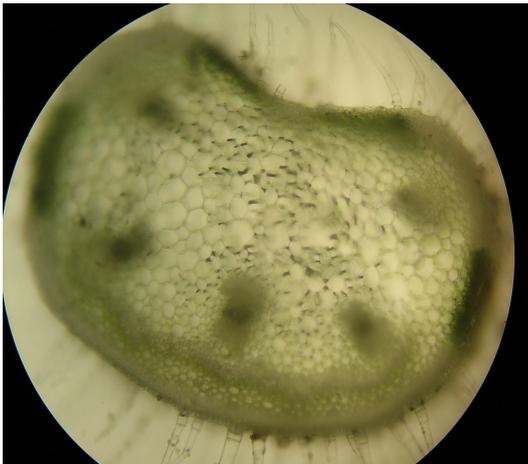
(一)目的：

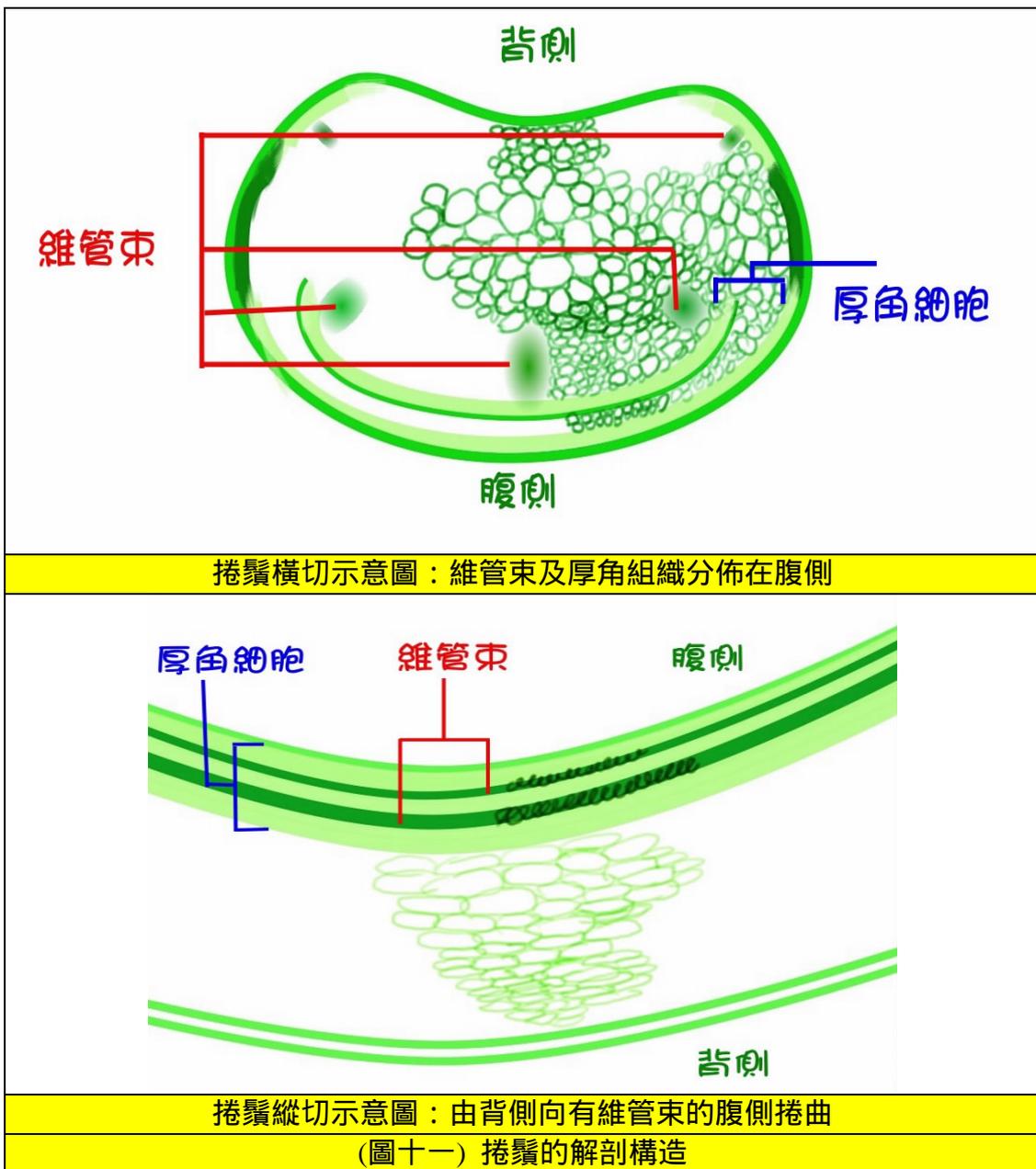
觀察變態莖及捲鬚的內部解剖構造，找出是否有維管束分佈不均或特殊引起捲曲的構造。

(二)方法：

1. 分別對龍鬚菜的莖(非變態莖)及捲鬚(含未捲起和已捲起)做橫切，在顯微鏡下觀察有何不尋常處。
2. 分別對同一捲鬚有捲及沒捲處從中縱切，在顯微鏡下觀察捲鬚內外側的差別。

(三)結果：請見(圖十一 捲鬚的解剖構造)

		
<p>莖橫切： 維管束布在莖內；無厚角組織</p>	<p>變態莖(未捲)橫切： 維管束及厚角組織分佈在腹側</p>	<p>變態莖(未捲)橫切： 放大厚角組織</p>
		
<p>捲鬚(末端)橫切： 維管束及厚角組織分佈在腹側，外側較平直，甚至有點內凹，內側反而圓弧突出。</p>	<p>捲鬚(背側)，縱切： 由背側向有維管束的腹側捲曲</p>	<p>捲鬚(背側)維管束的螺旋管</p>
		
<p>這是南瓜的捲鬚，也是維管束、厚角細胞分佈在捲鬚的內側。</p>		



(四)討論：

- 1.從型態推測捲鬚的形成是莖的背側(一般的薄壁組織)充水呈縱向伸長的趨勢；而腹側維管束受限於厚角組織,又受外側拉力,於是腹測和外側形成僵持狀態,當外側繼續延長,張力超過維管束的抗力時,維管束彈性縮回,造成莖的捲曲。
- 2.變態莖在未捲曲前,即已出現厚角組織和維管束分佈不均的現象;推測厚角組織和維管束決定捲曲的方向,外來刺激可能促使激素分泌,加速兩側生長的差異,卻不是捲鬚的必要因素。
- 3.植物的型態構造 - - 厚角組織和維管束分佈在特定部位,使該部位延長程度變小,且維管束具收縮功能。這些植物生長速度的差異和組織結構造成的物理力量,共同造成捲鬚;而不是單純由刺激、激素和生長速度的差異等,決定捲鬚是否產生或產生的模式,所以捲鬚並非典型的向性。

實驗三之 3 維管束收縮和捲曲的關係

前言：我們假設維管束收縮造成捲曲，如果將變態莖固定(拉緊)，阻止維管束收縮，則將無法形成捲曲(如果捲鬚是向性，由背側細胞生長速度較快造成，則將變態莖拉直、固定仍可形成捲鬚)

(一)目的：

瞭解捲鬚是否和維管束的收縮有關

(二)方法：

- 1.選龍鬚菜變態莖的中間主枝(長約 10cm)，(甲)將末端以線或膠帶貼在支柱上使中間段成拉直狀態 (乙)將末端已勾著支持物形成 2 圈捲曲的變態莖，調整支持物和中段間的距離使成拉直狀 (圖十二 將變態莖拉直的甲、乙組)
- 2.用實驗三之 1 的摩擦拉扯刺激方式，重複進行刺激。
- 3.觀察 48 小時，觀察是否形成捲曲。

(三)結果：

- 1.在有支柱情形下，末端仍能很快速捲成兩圈。
- 2.甲、乙兩組中間段經重複刺激，在 48 小時內皆未出現捲曲(即使大波浪都未出現)；而和乙同一株，同時勾住同一線段的另一段變態莖，則早已形成捲鬚。

(四)討論：

- 1.將中間段拉直，使維管束無法收縮(維管束收縮的力量小於拉直的力量)，中段無法形成大波浪或捲鬚，可見僅兩側生長速度的差異並無法形成捲曲，證實捲曲和維管束的收縮有關的假設。



實驗三之 4 捲鬚和激素的關係

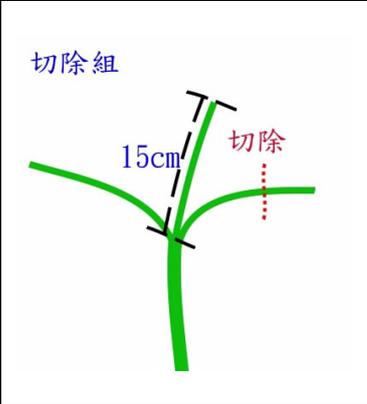
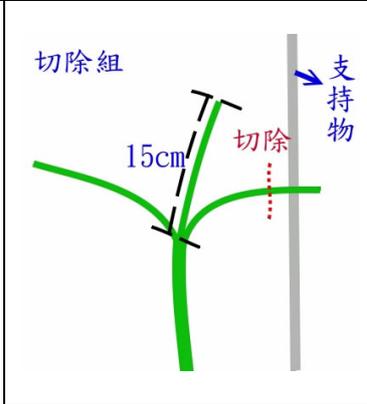
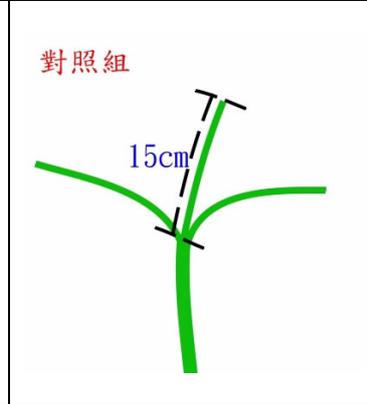
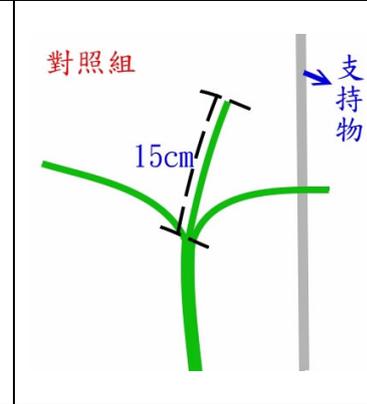
(一)目的：

瞭解激素在捲鬚過程的重要性。

(二)方法：

- 1.選 18 枝中間主枝長約 15 公分的變態莖，分為 6 組(每組 3 枝)，分別進行以下處理(如表十)：
 - (A)用剪刀剪去頂端 0.5 公分的部位，不附加鐵線作為纏繞時的支援物。
 - (B)用剪刀剪去頂端 0.5 公分的部位，在枝條附近加鐵線作為纏繞時的支持物。
 - (C)用剪刀剪去頂端 2 公分的部位，不附加鐵線作為纏繞時的支援物。
 - (D)用剪刀剪去頂端 2 公分的部位，在枝條附近加鐵線作為纏繞時的支持物。
 - (E)不做剪頂端的動作，也不加鐵線。作為(A)、(C)組的對照。
 - (F)不做剪頂端的動作，但附近加鐵線作為支持物。作為(B)、(D)組的對照。
- 2.以手指分別輕輕拉扯以上各實驗枝 3 次。
- 3.觀察並紀錄捲鬚的形成。

表十：方法示意圖

表十：方法示意圖			
			
切除組 無支持物，分為 A(切除 0.5cm,)、C(切除 2cm,)兩組。	切除組 有支持物，分為 B(切除 0.5cm,)、D(切除 2cm,)兩組。	對照組 A、C 的對照組，為 E 組。	對照組 B、D 的對照組為 F 組。

(三)結果：

- 1 剪掉頂端 0.5cm 對捲曲沒有影響，都能形成捲曲。
- 2 剪掉頂端 2cm，在無支持物的情況下無法形成捲曲甚至原來因拉扯所形成的弧度有變直的情形。
- 3 對照組不去頂端，在無支持物時形成不規則的自捲且速度較慢；有支持物時，則出現快速而規則的捲曲，且在捲曲中出現 1~2 個轉折。

(四)討論：↵

- 1 從 B、D 和 F 組的結果我們發現無論切除 0.5 公分或 2.0 公分，只要有支持物在，即可表現出捲鬚，可見激素對捲鬚的形成並非絕對需要。↵
- 2 在沒有支持物的情況下，對照組仍可形成捲鬚（自捲），只是捲圈較大而不規則，時間也較長；但去除頂端後，A 組：只能形成鬆散的 2~3 圈，C 組則只有彎曲無法形成捲圈。在排除激素的影響後，我們有兩種推測：↵
 - (1)形成捲鬚時，經由拉扯、碰觸的刺激，使維管束收縮，此時若維管束兩端各有支點（基部固定在莖上末端固定在支持物上），則中段因拉扯的力量，使捲曲的速度更快，也因捲曲造成中段的拉緊作用所以捲圈較小而緊密；而去除頂端，等於把維管束一端的固定點去除，此時若外界無法提供支持物，則維管束收縮時有一端是懸空的，將只能產生彎曲而非螺旋捲圈。↵
 - (2)因為維管束整體的縮短，使得類似彈簧的彈性係數變大，維管束收縮的難度自然增加。再加上捲鬚一端縮短，會使得彎曲時的力偶矩相對加大，造成扭轉時反轉的力量大增。在此雙重影響下，維管束極難彎曲，即使拉扯增加維管束收縮，使捲鬚捲曲，也會因為力偶矩而反轉至未彎曲的狀態。且因為維管束整體越短，作用越明顯，所以無支持物時切除 2cm 比 0.5cm 捲曲程度更小。↵
- 3 根據實驗結果，我們推測末端的維管束對捲鬚的影響最大，它也許是整條維管束收縮時的中心點或收縮力最強的區域，由這個地方拉動整條維管束的捲縮，進而形成螺旋狀的捲鬚。↵
- 4 雖然用切除頂端的方式，無法確定完全去除激素的影響（如激素可能由別處產生或早已儲存在中段），但最少證明激素並非捲鬚的決定因素。↵

六、結論↵

這次研究的主題是植物的捲曲現象，主要探討鳳仙花蒴果的爆破及龍鬚菜的鬚運動的模式原理。我們的結論包括：↵

- 1 綜合本探究的三種不同植物的捲曲方式包括一↵
 - (1)芹菜葉柄薄片泡入水中捲成圓圈，是因為其薄壁組織易吸水膨大，將維管束拉長。當維管束被拉長超過極限，維管束彈性縮回成原長，因為拉扯薄壁組織而造成薄片的捲曲。如去除周圍薄壁組織，維管束本身並無法伸長。↵
 - (2)而靠彈力傳播種子的非洲鳳仙花，也是以類似此方式使蒴果開裂。蒴果成熟時，果瓣外層細胞有增長及增厚，果瓣內層的維管束被動的被外層細胞拉長，藉此儲存彈力位能。內外側之間暫時維持張力的平衡，而保持果實的型態；當受外力作用或維管束的回復力夠大，破壞平衡狀態時，外側細胞膨脹伸長(膨壓改變造成細胞變形)加上內側維管束的彈性縮

回，造成果瓣捲曲，產生彈力將種子彈出。

(3)捲鬚的捲曲一直以來被認為是一種向性造成的現象，但其實依然為植物的型態構造和生理功能共同作用的結果——厚角組織和維管束分佈在特定部位，使延長程度變小，且維管束具彈性，這些植物延長速度的差異和組織結構造成的物理力量，共同造成捲鬚。而激素可能具有加速捲鬚形成的功能，卻非捲鬚的主因，我們從切片觀察發現腹背側構造的差異，從實驗證明捲曲和維管束收縮的關係，也從芹菜的實驗證實維管束真的有彈性。為捲鬚的形成提供另一模式。

- 5.我們尚未解決的問題是：無法取得直接的證據，證明是維管束的收縮造成捲曲，也無法確認捲曲時，外側的伸長是細胞因膨壓改變造成的變形亦或是生長加速造成的加長或兩者都有。
- 6.透過這次探索，我們發現植物的曲線之美，尤其捲鬚的規律性、緊密度，維管束螺旋導管的旋轉姿態，都比人工製造的物品還要優美，真是令人嘆為觀止。

七、參考資料

- 1.蔡淑華··植物解剖學·國立編譯館出版，世界書局印行···p66-98···1972
- 2.李學勇··基礎植物學·國立編譯館，··p196-339··1987
- 3.劉清水&劉耀先·攀援性植物纏繞莖纏繞方向之研究·中學教育學報·第四期···
p333-351
- 4.參考網站

(1)<http://www.botgard.ucla.edu/html/botanytextbooks/generalbotany/typesofshoots/tendrils/index.html>

(2)<http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/e32/32e.htm>

評語

040713 高中組生物科

生命的曲線

1. 觀測與記錄仔細。
2. 對維管束與彈力之間的相關性應加入物理與數學的分析方法。