

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生物科

第三名

030324

聰明的百香果，捲！捲！捲！

學校名稱：臺中市立大業國民中學

作者： 國二 呂紹寧 國二 陳冠榛 國二 張妙德	指導老師： 邱雅琪
---	------------------

關鍵詞：百香果、向觸性、捲鬚莖

聰明的百香果，捲！捲！捲！

摘要:

植物向觸性的介紹常以牽牛花的莖或是葡萄的捲鬚莖為例，這些莖碰觸到物體時，會發生捲束行為而束緊該物體。本實驗觀測發現：百香果的捲鬚莖即使未捲束到其它物體，亦可直接回捲而形成「彈簧狀」，若捲鬚莖捲束到其他物體，則會逐漸增加拉力，以縮短百香果枝條與該物體之間的距離。本實驗依據：外型觀察、切片觀察與拉力測量的結果，將百香果的捲束行為分為「初抓」、「束緊」、「回捲」、「硬化」四個階段。本實驗認為：「初抓」、「束緊」的行為，與一般向觸性之捲束行為相似，但「回捲」的行為則不發生於牽牛花與葡萄。此外，緊實捲束物體的捲鬚莖，其基部直徑多大於未捲束其它物體而直接回捲之捲鬚莖。

壹、 研究動機

在生物課程有關於植物「向觸性」的介紹中，我們發現葡萄、牽牛花的捲曲現象，完全符合課本描述，在捲鬚莖碰觸物品時，因生長激素分布不均，外側細胞生長速度較快，而發生捲束行為。但百香果的捲鬚即使沒有碰觸物品也會自己回捲成彈簧狀，於是我們就想探討百香果的捲束行為和一般的「向觸性」行為有何不同。

貳、 研究目的

- 一、 探討百香果捲束行為的過程特徵
- 二、 比較百香果捲束行為與一般「向觸性」捲束行為的差異

參、 研究器材及設備

- 一、 手電筒(圖一)
- 二、 彈簧秤 250 公克&500 公克(圖一)
- 三、 標籤(圖一)
- 四、 鐵絲(圖一)
- 五、 梯子
- 六、 游標尺(圖一)
- 七、 自製測量器(量拉力用)(圖二)



(圖一)

(圖二)

肆、 研究過程或方法

一、捲束行爲之詳細觀察

- (一) 拍照與觀察比對不同時期、不同捲鬚莖之特徵。
- (二) 分析及初步判定百香果各階段之捲束行爲。
- (三) 繪製各階段捲束行爲之特徵，並找出關鍵變化。

二、捲鬚莖拉力變化測量

- (一) 挑選數條百香果枝條，並在各枝條選擇較靠近末梢之連續三個捲鬚莖。
- (二) 以彈簧秤向上提起三個捲鬚莖的中間捲鬚莖（兩旁的捲鬚莖以額外勾子固定），測量其拉力（圖三-1.2）。
- (三) 紀錄彈簧秤向上拉一公分和兩公分之拉力數值，兩者相減得到一公分的拉力。
- (四) 測量時間：始於捲鬚莖開始捲束物體；捲鬚莖木質化後（硬化）結束，為期約 10 週。



圖三-1



圖三-2

三、影響捲鬚莖拉力之可能因素【於 2012 年 12 月、2013 年 5 月各進行一次】

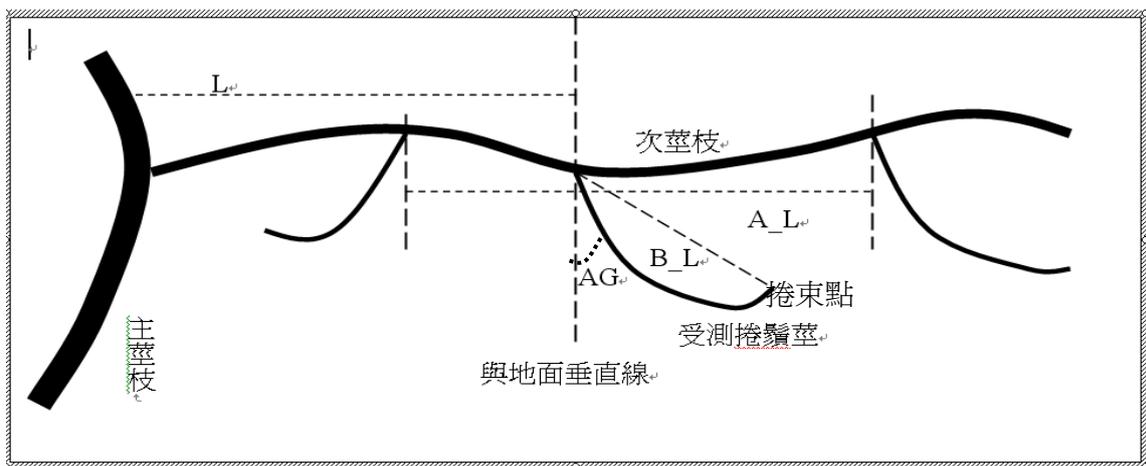
(一) 選取即將硬化之捲鬚莖進行相關測量

(捲鬚莖轉為深褐色且表面出現斑點視為即將硬化)

(二) 測量項目：

1. 捲束點與捲鬚莖基部之距離 (圖示代號: B_L)
2. 次莖枝之直徑
3. 捲鬚莖與地面鉛垂線的夾角之角度 (圖示代號: AG)
4. 捲鬚莖基部與最近主莖枝之長度 (圖示代號: L)
5. 捲鬚莖基部與最近兩個捲鬚莖之平均距離 (圖示代號: A_L)
6. 捲鬚莖基部之直徑

上述名詞說明如圖下: (圖四)



7. 捲鬚莖之拉力測試：

上述 1 至 6 項數據測量後，剪下捲鬚莖測量拉力，如下圖 (圖五-1.2)



圖五-1



圖五-2

(三) 比較拉力與(上述 1 至 6 項目)之關係

四、捲束物體與未捲束物體之捲鬚莖基部直徑比較

(一) 選取 4 條次莖枝

(二) 測量各次莖枝上捲束物體與未捲束物體之捲鬚莖基部直徑

五、不同捲束階段之捲鬚莖的解剖特徵比較

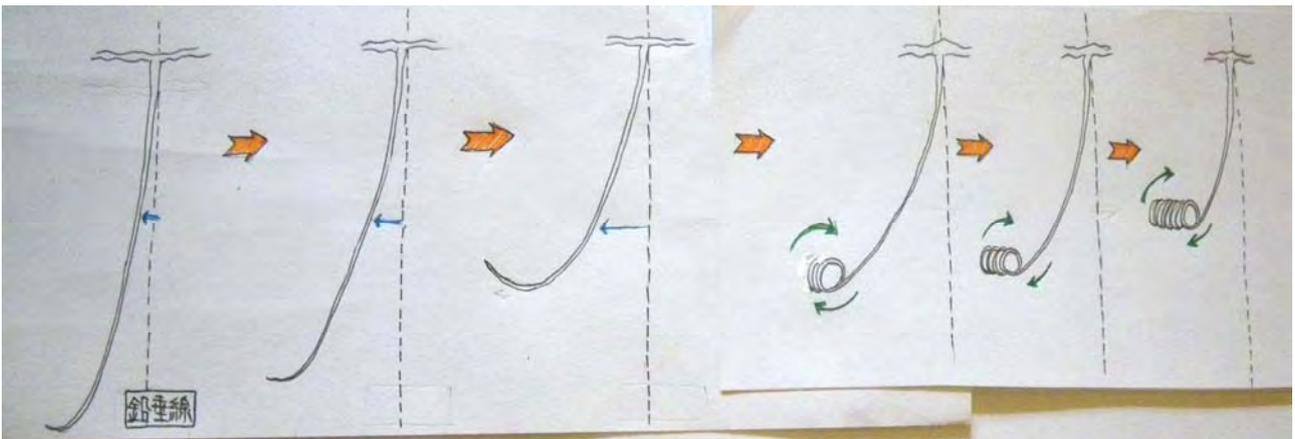
(一) 製作不同捲曲階段之捲鬚莖切片標本

(二) 以複試顯微鏡觀察比較各階段捲鬚莖解剖特徵的不同

伍、結果

一、捲束行爲

(一) 未碰觸其它物體，直接回捲(圖六)



(圖七)

【說明】

捲鬚莖如果未抓到任何東西，將會回捲形成彈簧狀物體，收回多餘捲鬚莖。

(二) 碰觸其它物體之捲束過程 (主要區分為：1.初抓、2.束緊、3.回捲、4.硬化)

1.初抓 (圖八)



【說明】

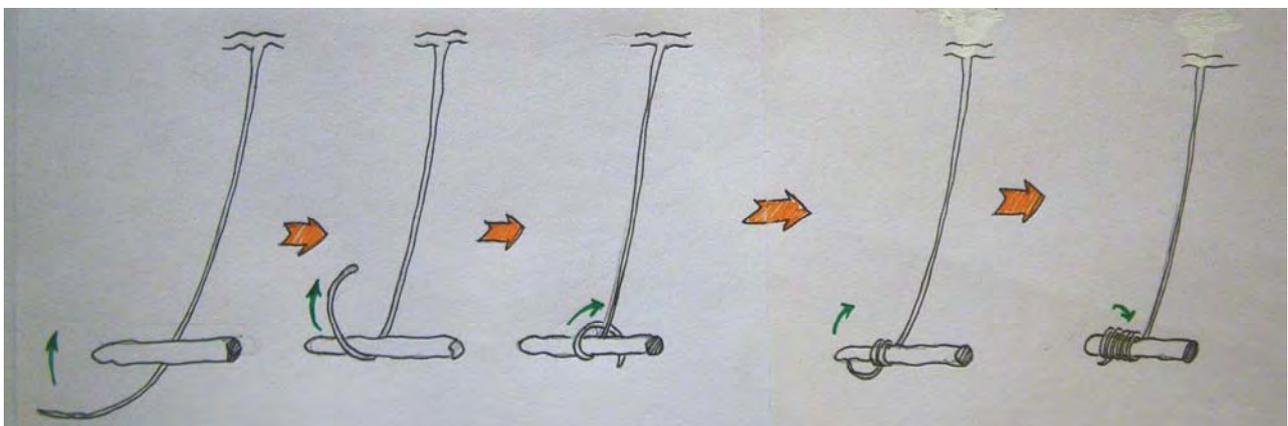
1. 捲鬚莖經擺盪而找到物體，碰觸勾住且開始捲束。

2.束緊 (圖九)



【說明】

1. 已碰觸物體的捲鬚莖以最前端捲束點為中心開始捲束。
2. 捲鬚莖捲束產生彈簧狀。

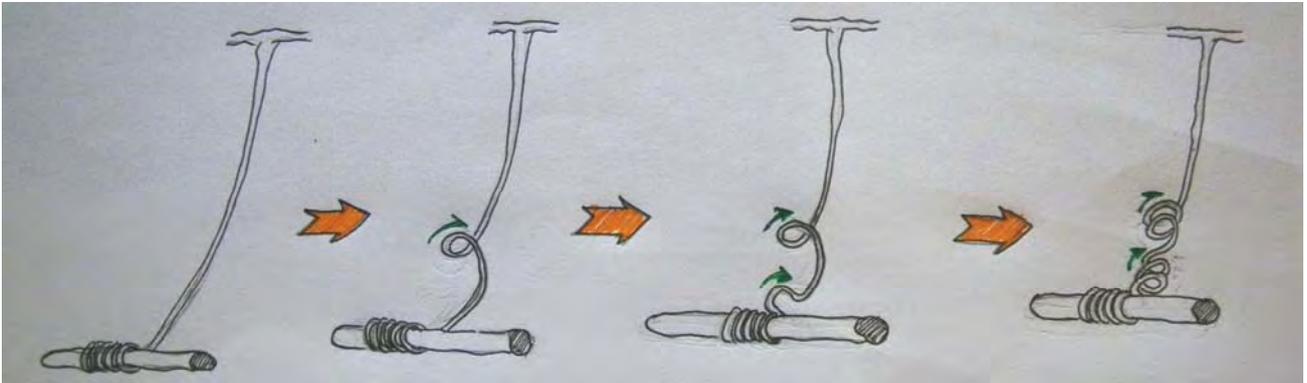


(圖十：初抓期到束緊期的示意圖)

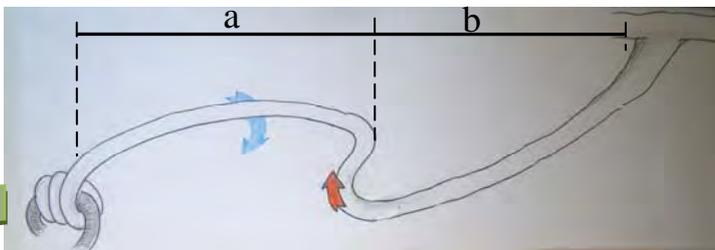
3.回捲

(1) 捲束點緊實 → 產生「翻轉弧」

A.產生一個「翻轉弧」(圖十一)

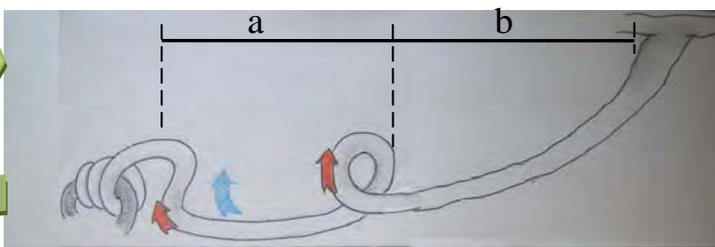


以下(圖十二_1、2、3、4、5)說明一個翻轉弧的形成和變化



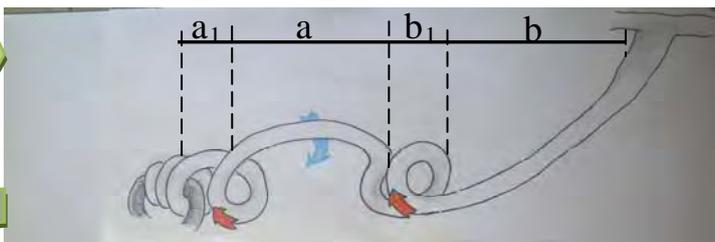
【說明】

1. 紅箭頭處外測生長速率大於內側。
2. 前端未回捲的捲須開始回捲。(線段 b)
3. 產生翻轉弧(線段 a)。
4. 線段 a 向下彎垂翻轉(藍色箭頭)。



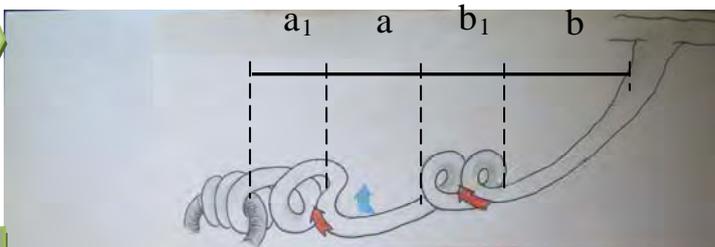
【說明】

1. 紅箭頭處外測生長速率大於內側。
2. 翻轉弧持續翻轉且逐漸縮短。



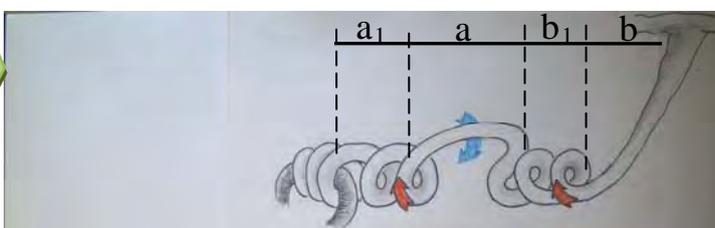
【說明】

1. 翻轉弧持續繞圈翻轉且因被前端回圈(線段 a_1) 用掉而向後端逐漸縮短。
2. 線段 b 因往回回捲縮短而產生後端回圈(線段 b_1)。



【說明】

1. 翻轉弧持續繞圈翻轉且逐漸被線段 a_1 取代而縮短。(但不會到零)
2. 線段 b 持續往回回轉且逐漸被線段 b_1 取代而縮短。(但不會到零)



【說明】

1. 此現象結束時線段 a_1 的圈數約等於線段 b_1 的圈數。
2. 線段 a_1+a+b_1+b 會明顯小於(圖十二_1) 線段 $a+b$ 的結果。



(圖十三)

【說明】
一個翻轉弧

B.產生兩個「翻轉弧」



(圖十四)

【說明】

- 1.當第一個翻轉弧無法再縮小時，會再形成第二個翻轉弧。
2. 因翻轉弧兩側會同步回捲，所以兩個翻轉弧中間的回圈數約略等於外部兩側回圈數相加。

(2) 捲束點鬆脫 → 不產生「翻轉弧」



(圖十五)

【說明】

1. 捲束點鬆脫導致捲鬚莖回捲時沒有支點支撐，而形成彈簧狀。
2. 此捲鬚莖無法產生翻轉弧。

4.硬化



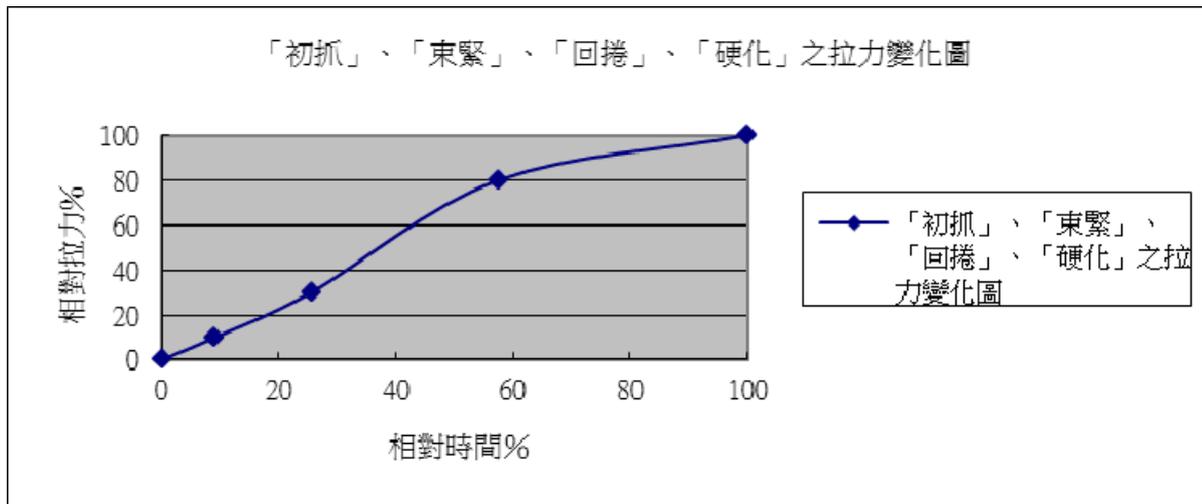
(圖十六)

【說明】

1. 當捲鬚莖變成褐色且有斑點，表示已木質化，即是所謂的硬化。

二、捲鬚莖拉力變化

「初抓」、「束緊」、「回捲」、「硬化」之拉力變化圖（圖十七）（原始數據於附錄一）



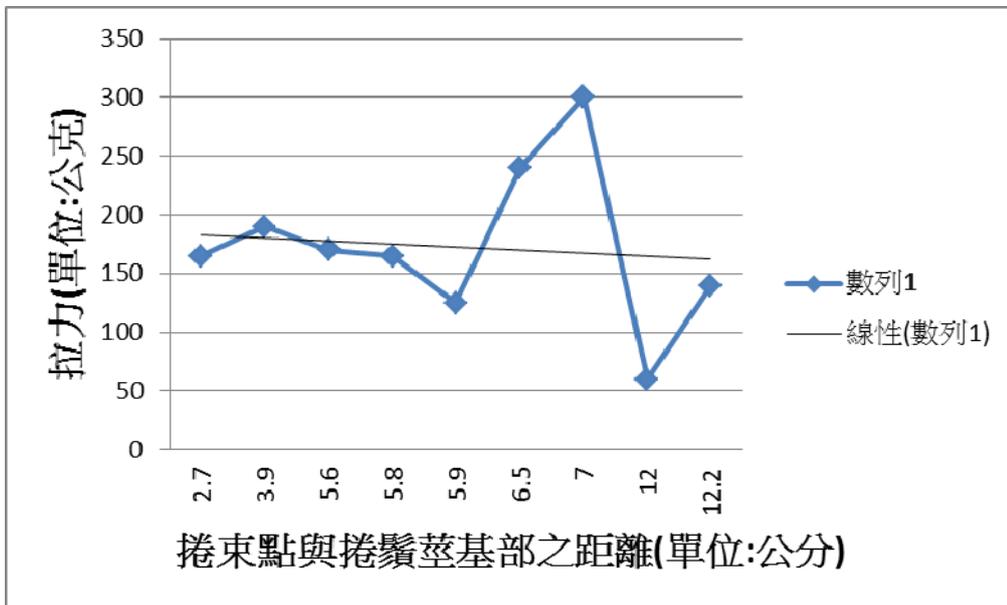
【說明】

- (一) 初抓期：拉力極弱，約為最高拉力 10% 以下，約佔整個時期 9%
- (二) 束緊期：拉力漸增，可達最高拉力之 30%，約佔整個時期 16.5%
- (三) 回捲期：拉力快速增加，可達最高拉力之 80%，約佔整個時期 32%
- (四) 硬化期：拉力增加之速率減緩，表面已漸漸木質化，將該時期之最高拉力視為 100%，約佔整個時期 42.5%

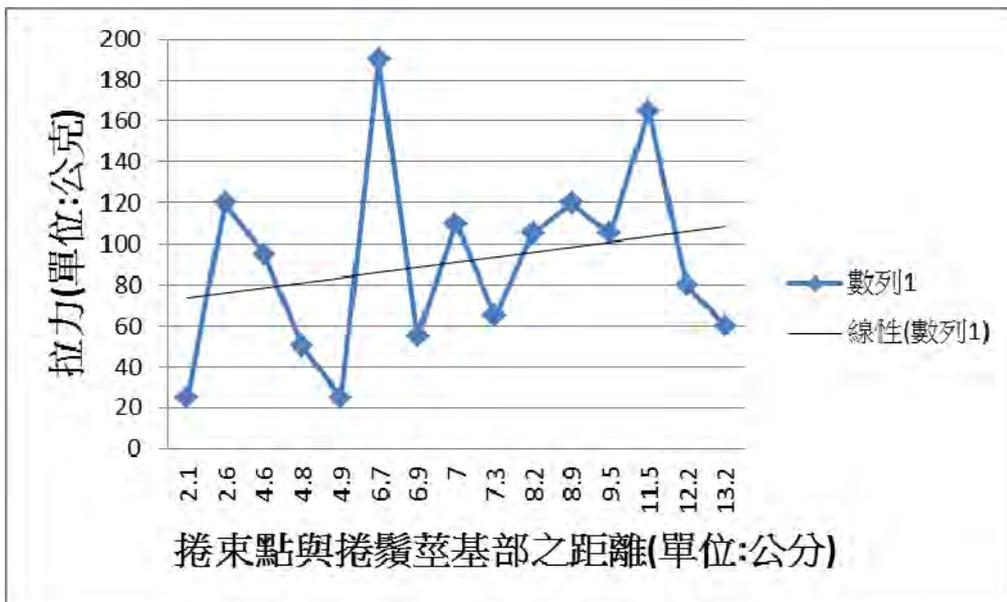
三、影響捲鬚莖拉力之可能因素（原始數據於附錄二）

（一）拉力和『捲束點與捲鬚莖基部之距離』的相關性

2012年十二月實驗（圖十八）



2013年五月實驗（圖十九）

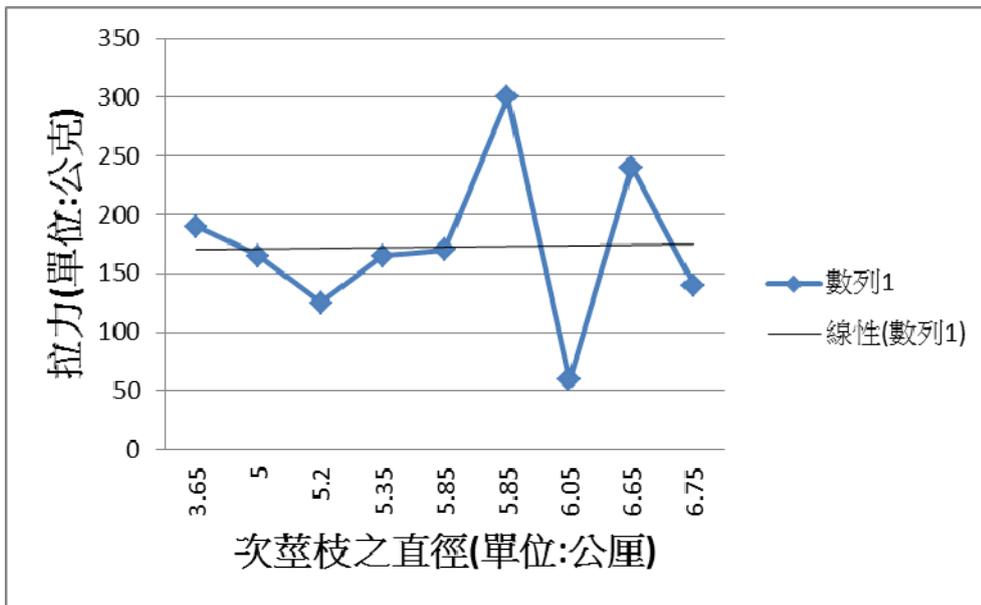


【說明】

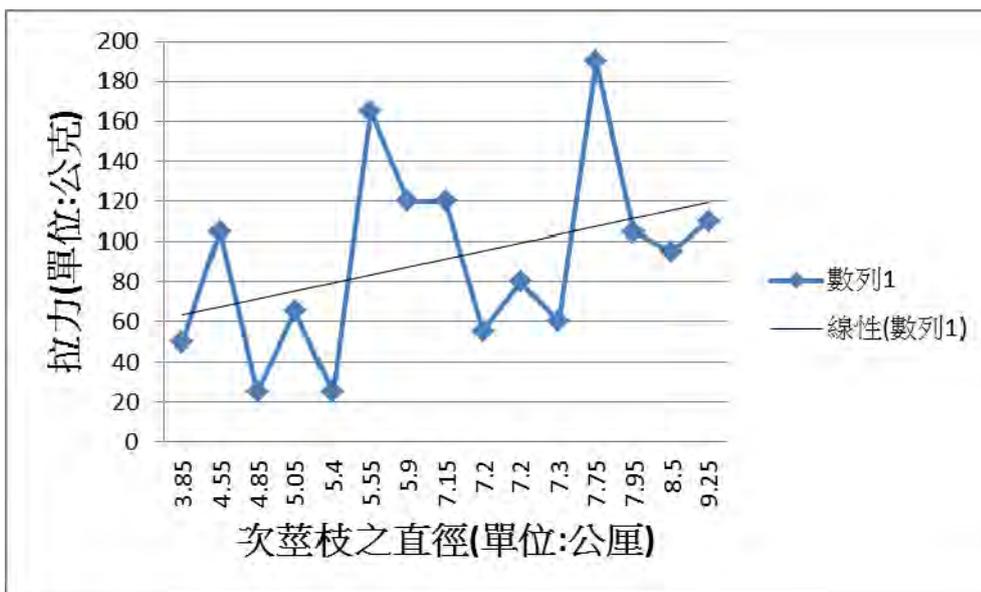
1. 由於二次測試的結果相反，因此此因素與拉力大小並無直接相關。

(二) 拉力和『次莖枝之直徑』的相關性

2012 年十二月實驗 (圖二十)



2013 年五月實驗 (圖二十一)

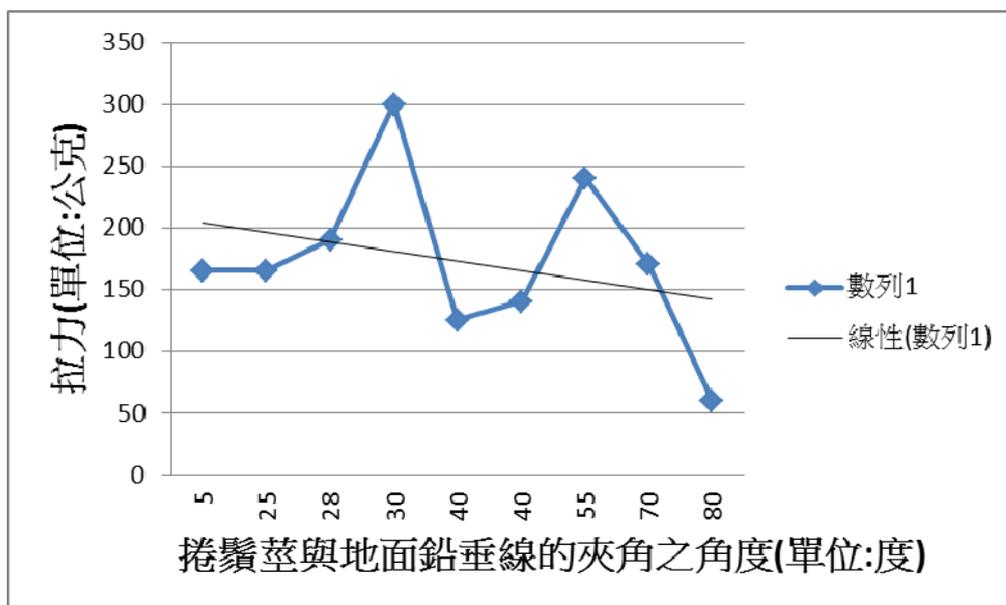


【說明】

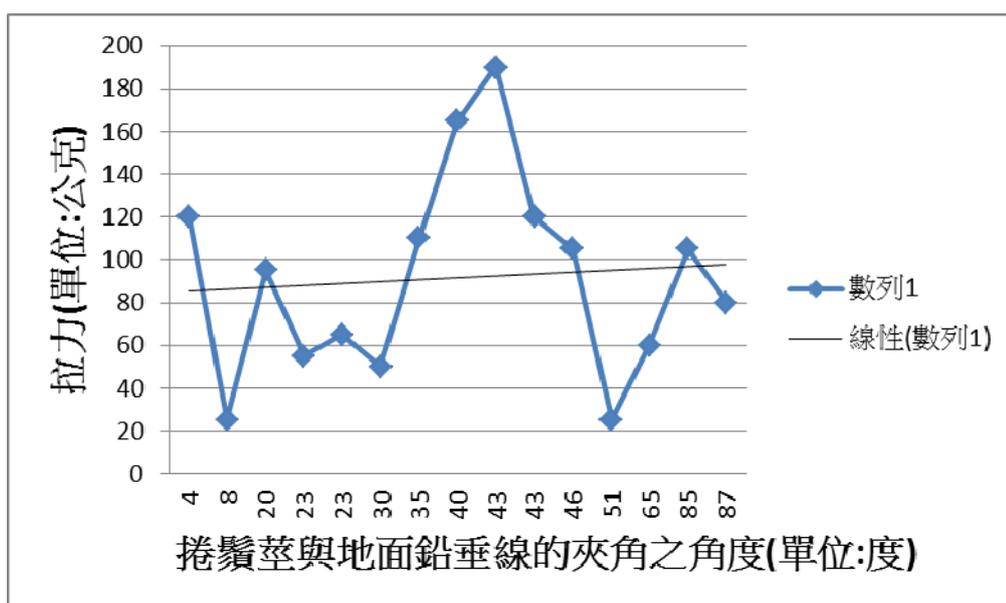
1. 由於二次測試的結果不相同，因此此因素與拉力大小並無直接相關。
2. 2012 年十二月實驗的折線圖之線性回歸幾乎是平的，應無直接相關。

(三) 拉力與『捲鬚莖與地面鉛垂線的夾角之角度』的相關性

2012 年十二月實驗 (圖二十二)



2013 年五月實驗 (圖二十三)

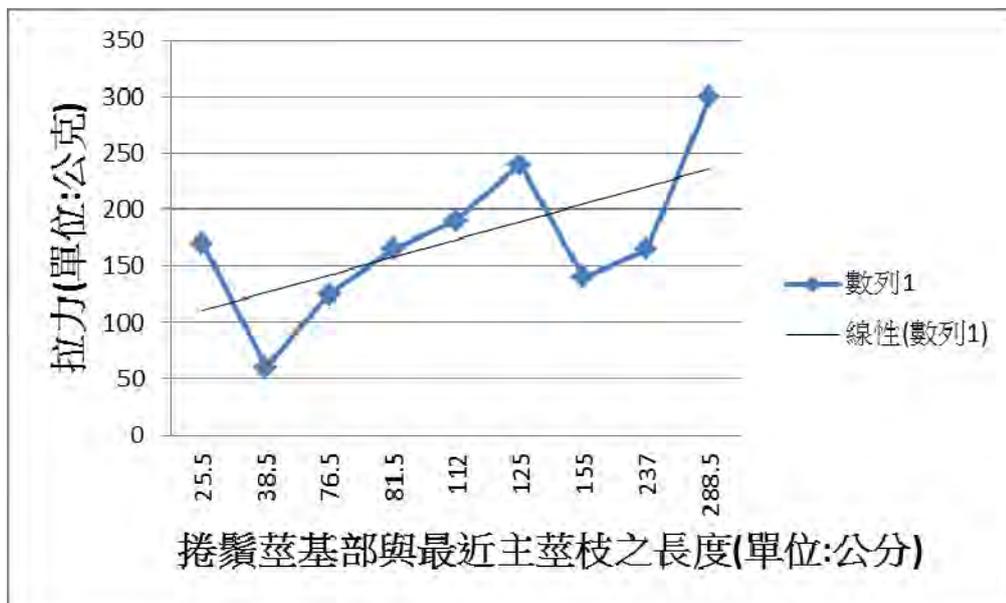


【說明】

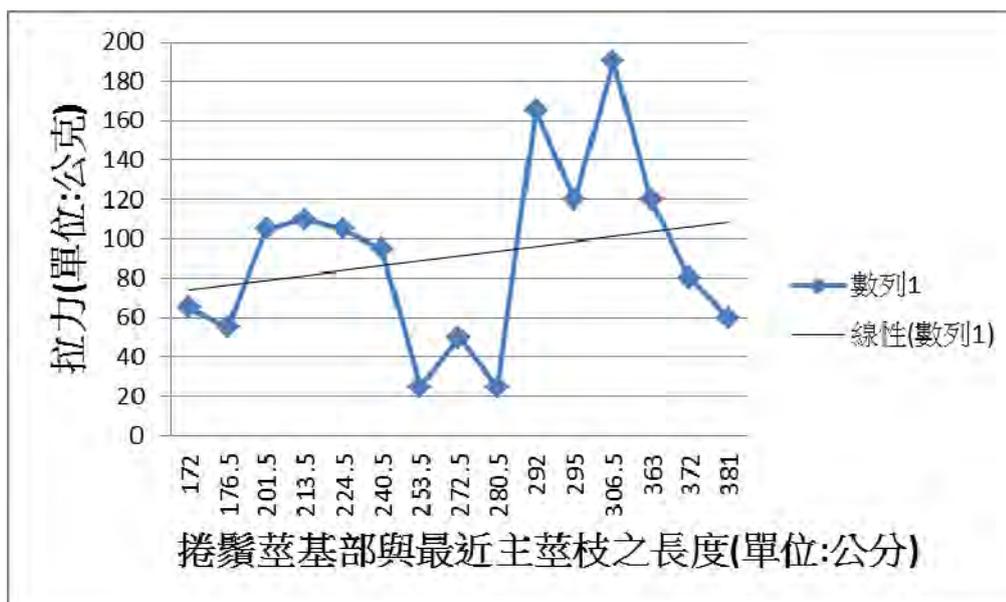
1. 由於二次測試的結果相反，因此此因素與拉力大小並無直接相關。

(四) 拉力與『捲鬚莖基部與最近主莖枝之長度』的相關性

2012 年十二月實驗 (圖二十四)



2013 年五月實驗 (圖二十五)

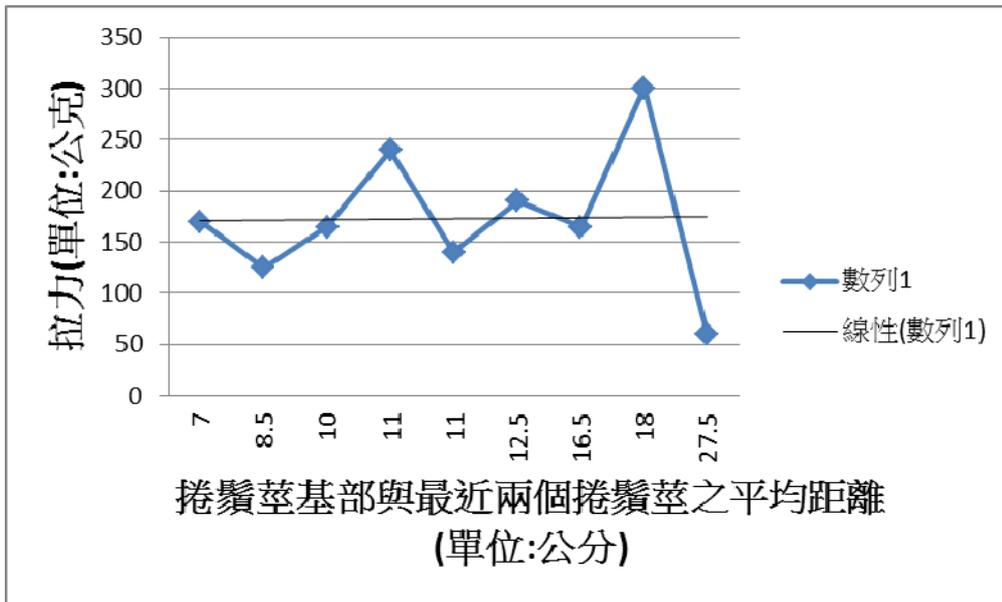


【說明】

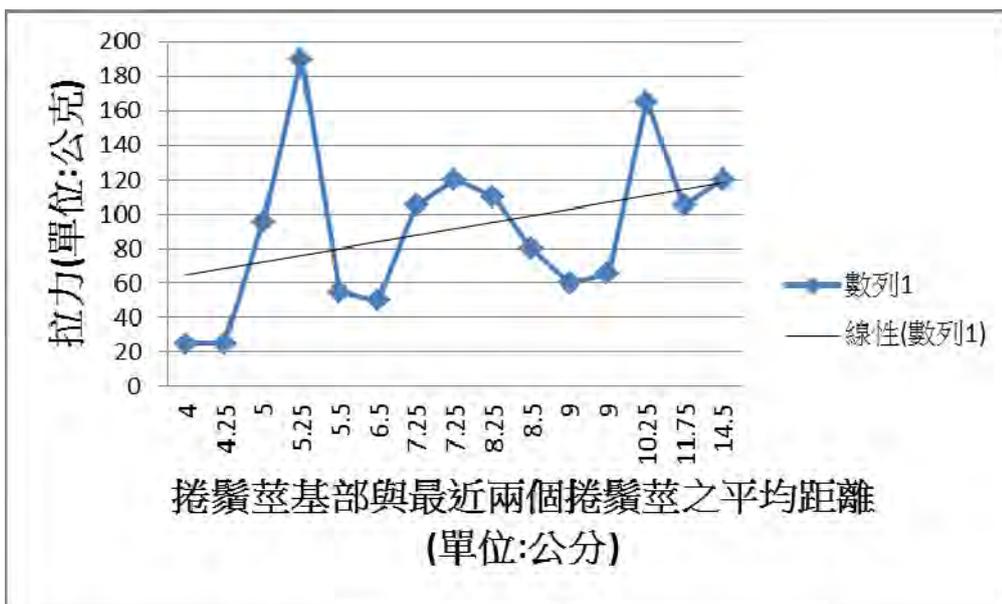
1. 此折線圖之線性顯示捲鬚莖基部與最近主莖枝之長度越長者，拉力越大；長度越短者，拉力越小。

(五) 拉力與『捲鬚莖基部與最近兩個捲鬚莖之平均距離』的相關性

2012年十二月實驗【圖二十六】



2013年五月實驗【圖二十七】

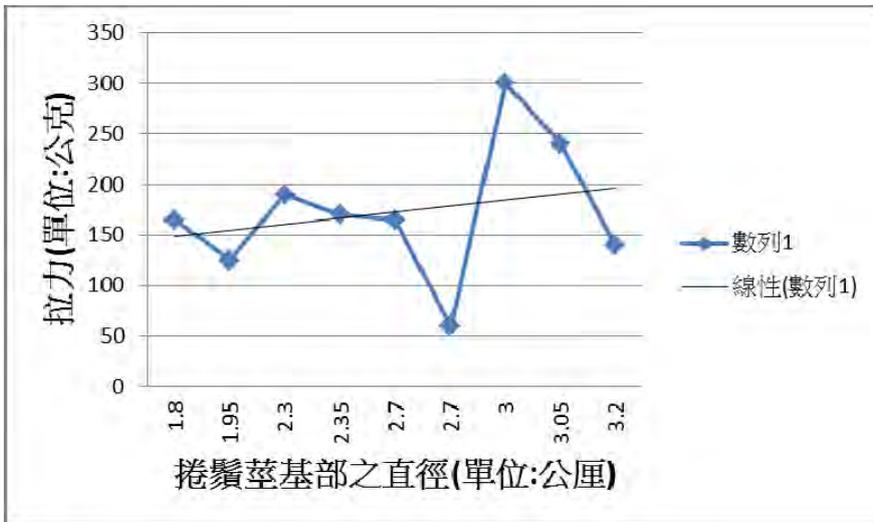


【說明】

1. 由於二次測試的結果不相同，因此此因素與拉力大小並無直接相關。
2. 2012年十二月實驗的折線圖線性幾乎是平的無直接關係。

(六) 拉力與『捲鬚莖基部之直徑』的相關性

2012 年十二月實驗【圖二十八】



【說明】

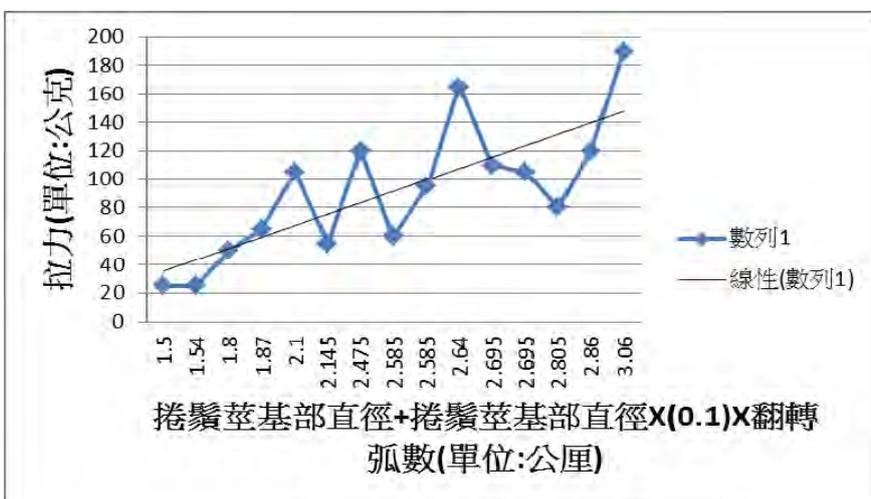
1. 此折線圖之線性顯示捲鬚莖基部之直徑越寬者，拉力越大；直徑越小者，拉力越小。

2013 年五月實驗【圖二十九】



拉力與『捲鬚莖基部直徑+捲鬚莖基部直徑X(0.1)X翻轉弧數』的相關性

此圖僅以 2013 年五月實驗進行修正【圖三十】



【說明】

此折線圖之線性顯示：

【捲鬚莖基部直徑+捲鬚莖基部直徑X(0.1)X翻轉弧數】長度越長者，拉力越大；長度越短者，拉力越小。各捲鬚莖之翻轉弧數紀錄於(附錄二)

四、捲束物體與未捲束物體之捲鬚莖基部直徑比較（原始數據於附錄三）

	完成捲鬚行爲之捲鬚莖基部 直徑平均值（公厘）	未完成捲鬚行爲之捲鬚莖基部 直徑平均值（公厘）
枝條一	2.60	1.81
枝條二	2.28	1.55
枝條三	2.68	2.68
枝條四	2.03	1.77
總平均值	2.40	1.91

註：四捨五入取到小數點第二位

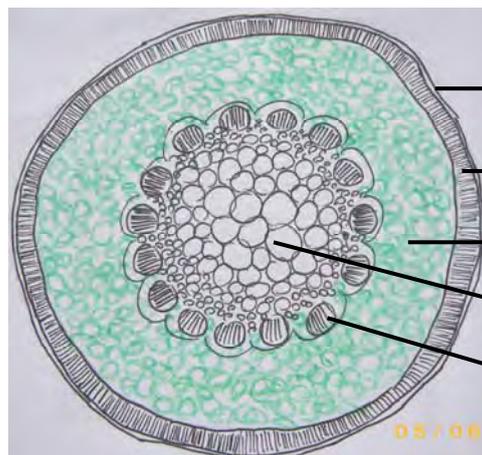
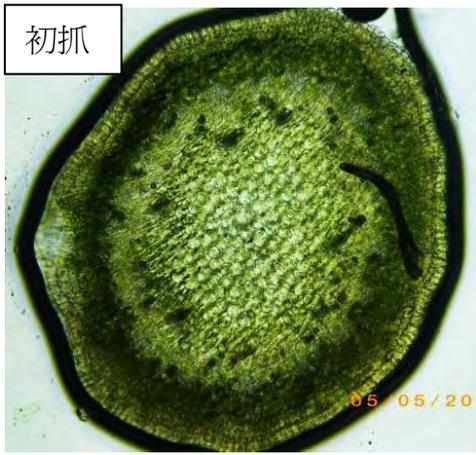
五、不同捲束階段之捲鬚莖的解剖特徵比較

「初抓」：整體橫切面大概可分為五層：由外至內：分別為：表皮、厚角細胞、皮層（綠色薄壁細胞）、維管束、髓（透明薄壁細胞）。

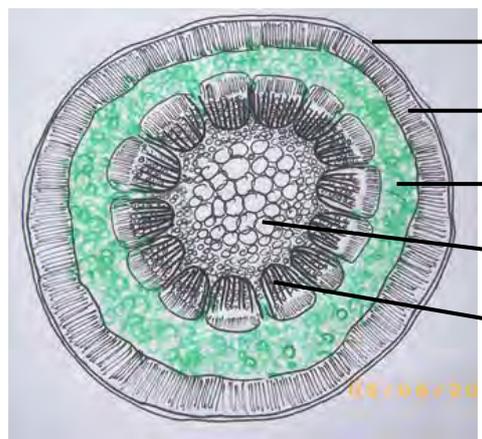
「束緊」：厚角細胞逐漸增多，皮層減少，維管束可分辨出木質部與韌皮部，髓減少。

「回捲」：厚角細胞更多，皮層持續減少，一束束維管束緊密相連。

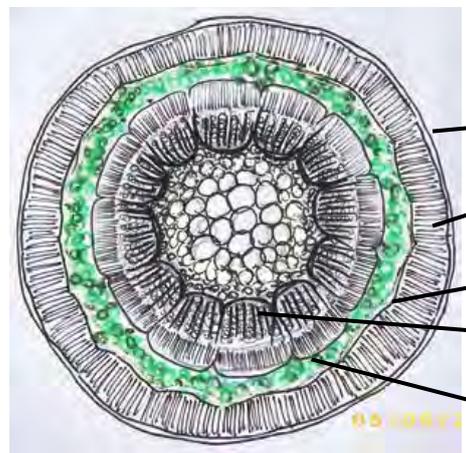
「硬化」：厚角細胞、皮層均減少，維管束木質部大量增加。



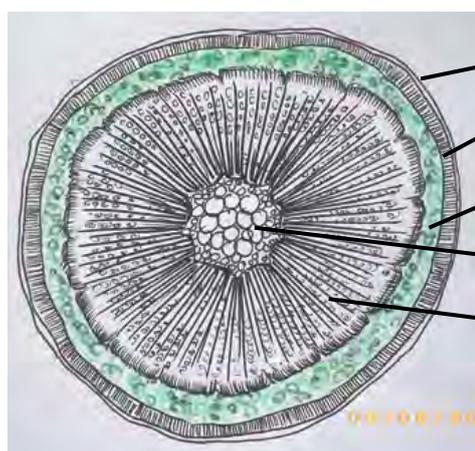
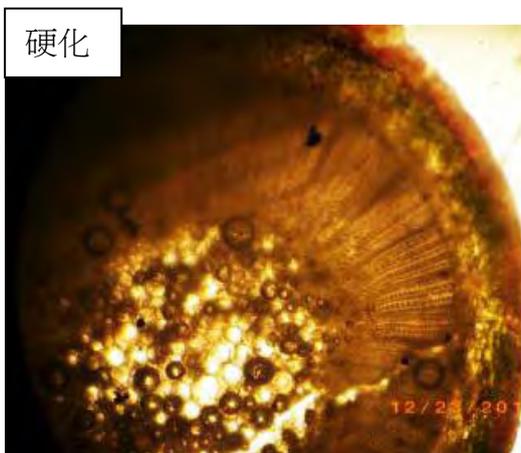
- 表皮
- 厚角細胞
- 皮層
- 髓
- 維管束



- 表皮
- 厚角細胞
- 皮層
- 髓
- 維管束



- 表皮
- 厚角細胞
- 皮層
- 維管束
- 髓



- 表皮
- 厚角細胞
- 皮層
- 髓
- 維管束木質部

陸、討論

一、回捲現象與「翻轉弧」的產生

依據本實驗觀察與測量結果，百香果之捲鬚莖生長至 16 至 20 公分左右，無需碰觸即會發生回捲現象，由此可知，捲鬚莖外側細胞生長速率較快，不必然是向觸性運動。回捲現象應可使盲目的捲鬚莖擺盪、碰觸到周圍的物體。然而，碰觸到物體後，向觸性引發的「束緊」作用，應會暫緩回捲現象，因為持續性的回捲現象，會拉回捲鬚莖而妨礙「束緊」作用。由於「束緊」的碰觸物（如：棚架）無法翻轉，因此必需產生「翻轉弧」，才能持續回捲捲鬚莖，強化莖枝與捲束點之間的拉力。依據本實驗的觀察，一個「翻轉弧」至多 3 翻轉圈，就無法再縮短，若要持續增加拉力，則勢必再增加「翻轉弧」的數量，而「翻轉弧」增加，也應可增加莖枝與捲束點之間的拉力。



二、拉力增加與解剖構造的關係

由實驗數據顯示，「回捲」階段是莖枝與捲束點之間拉力增加最快的時期。由解剖構造判斷，「初抓」階段主要以薄壁細胞為主；「束緊」階段厚角細胞開始增加；「回捲」階段厚角細胞大量增加。依據參考資料，厚角細胞位於外側，細胞堅硬但為活細胞，所以仍可能改變細胞形態。本實驗認為，捲鬚莖發生形變與增加拉力，應和厚角細胞增加有關。「硬化」階段捲鬚莖變硬，應是木質化細胞增加所造成。依據參考資料，這部位細胞多為死細胞，因此硬化後很難再發生形變。

三、拉力與「翻轉弧」

在兩次『捲鬚莖基部之直徑』與拉力相關性的比較中，均顯示：捲鬚莖基部之直徑與拉力具有正相關，但不明顯。然而，在 2013 年 5 月的測試中，本實驗加入了「翻轉弧」數量的考量（註：2012 年 12 月時，尚未釐清「翻轉弧」產生的方式）。本實驗假設：「翻轉弧」數量增加應顯示該捲鬚莖承受較大的拉力，所以本實驗試著以「翻轉弧」數量修正『捲鬚莖基部之直徑』與拉力相關性。其假設公式為：

$$\text{【修正後基部直徑】} = \text{【原來基部直徑】} + \text{【原來基部直徑】} \times 0.1 \times \text{【「翻轉弧」數量】}$$

該公式意義為，每增加一個「翻轉弧」，約等於增加 1/10 直徑所產生的拉力。經該公式

修正後，『捲鬚莖基部之直徑』與拉力的相關性明顯升高。

四、聰明的百香果，捲、捲、捲

本實驗選在 2012 年 12 月與 2013 年 5 月進行兩次捲鬚莖拉力測量，由於此測量需剪下捲鬚莖，因此必需考慮百香果的生長季與氣候。此兩次測量中，僅『捲鬚莖基部與最近主莖枝之長度』和『捲鬚莖基部之直徑』與拉力較為相關。『捲鬚莖基部與最近主莖枝之長度』較近者，拉力越小。此現象應是越靠近主莖枝，其捲鬚莖眾多、纏繞複雜，因此單一捲鬚莖無需負擔過大的拉力。此外，比較捲束物體與未捲束物體之捲鬚莖基部直徑，其結果顯示：未捲束物體之捲鬚莖基部直徑明顯較小。上述結果顯示，百香果是相當「聰明」的植物。

五、氣候的干擾與後續實驗

2012 年 9 月末的焚風將我們的百香果摧毀了超過一半以上，導致原先計劃的實驗無法進行，加上冬季百香果的生長速度減慢，捲鬚莖的數量不足，所以延後實驗進度。

2013 年 4 月後百香果才逐漸生長，本實驗仍持續測量拉力變化，以改善樣本不足的情況。

六、未來展望

依據本實驗觀察，持續性的回捲現象，應會妨礙「束緊」作用。因此，當向觸性的「束緊」作用產生時，應會暫緩回捲現象，但本實驗未在拉力變化曲線中，觀測到回捲拉力暫緩增加的現象，期待我們能想到更精密的方式，測量到此現象的存在。

柒、結論

- 一、捲鬚莖的回捲現象無需接觸刺激即可引發
- 二、回捲現象可增加捲鬚莖碰觸物體的機會
- 三、束緊之後的回捲現象會產生翻轉弧
- 四、捲鬚莖基部之直徑、翻轉弧數量與拉力成正相關
- 五、未捲束物體的捲鬚莖較為細小

捌、參考資料與附錄

參考資料：

- 一、 國中生物課本
- 二、 偉明 普通生物學
- 三、 偉明 植物生理學
- 四、 科學出版社 植物生理學
- 五、 作者：李宗穎、康鈺法、康哲偉、楊宏農 43屆 中小學科展 高中組 百香果捲鬚
向觸性之探討 國立宜蘭高級中學
- 六、 作者：張容禎、林巧文 中央研究院高中生命科學研究人才培育計畫 佛手瓜卷鬚之
向觸性及 其參與蛋白質之探討

附錄一：(單位:公克)

	第一株(近)	相對拉力%		絕對天數	相對天數%
10月25日	x	0			
10月29日	x	0	初抓 10%下	6	9
11月1日	10	11			
11月4日	15	17			
11月8日	25	28	束緊 30%	17	27
11月11日	59	66			
11月15日	59	66			
11月18日	60	67			
11月22日	40	45	放鬆 80%	33	52
11月25日	80	89			
12月20日	75	83			
12月23日	85	94			
12月27日	90	100	硬化 100%	64	100
12月31日	60	67			
			總天數 64 天		

	第二株 (遠)	相對拉力%		絕對天數	相對天數%	累計相對天數%之平均
10月25日	x	0				
10月29日	x	0	初抓 10%下	6	9	9
11月1日	35	35				
11月4日	20	20				
11月8日	30	30	束緊 30%	16	24	25.5
11月11日	35	35				
11月15日	40	40				
11月18日	40	40				
11月22日	40	40				
11月25日	80	80	放鬆 80%	43	63	57.5
12月20日	95	95				
12月23日	90	90				
12月27日	95	95				
12月31日	100	100	硬化 100%	68	100	100
			總天數 68 天			

附錄二：

【12月測量】

	捲束點與捲鬚莖基部之距離(單位:公分)	次莖枝之直徑(單位:公厘)	捲鬚莖與地面鉛垂線的夾角之角度(單位:度)	捲鬚莖基部與最近主莖枝之長度(單位:公分)	捲鬚莖基部與最近兩個捲鬚莖之平均距離(單位:公分)	捲鬚莖基部之直徑(單位:公厘)	拉力(單位:公克)
標號一	5.8	5	25	237	16.5	2.7	165
標號二	6.5	6.65	55	125	11	3.05	240
標號三	2.7	5.35	5	81.5	10	1.8	165
標號四	5.9	5.2	40	76.5	8.5	1.95	125
標號五	12	6.05	80	38.5	27.5	2.7	60
標號六	3.9	3.65	28	112	12.5	2.3	190
標號八	5.6	5.85	70	25.5	7	2.35	170
標號九	7	5.85	30	288.5	18	3	300
標號十	12.2	6.75	40	155	11	3.2	140

【5月測量】

	捲束點與捲鬚莖基部之距離(單位:公分)	次莖枝之直徑(單位:公厘)	捲鬚莖與地面鉛垂線的夾角之角度(單位:度)	捲鬚莖基部與最近主莖枝之長度(單位:公分)	捲鬚莖基部與最近兩個捲鬚莖之平均距離(單位:公分)	捲鬚莖基部之直徑(單位:公厘)	拉力(單位:公克)	翻轉弧數
捲鬚一	7	9.25	35	213.5	8.25	2.45	110	1
捲鬚二	6.7	7.75	43	306.5	5.25	2.55	190	2
捲鬚三	13.2	7.3	65	381	9	2.35	60	1
捲鬚四	2.6	5.9	4	295	14.5	2.6	120	1
捲鬚五	4.6	8.5	20	240.5	5	2.35	95	1
捲鬚六	9.5	4.55	85	224.5	11.75	1.75	105	2
捲鬚七	6.9	7.2	23	176.5	5.5	1.95	55	1
捲鬚八	8.2	7.95	46	201.5	7.25	2.45	105	1
捲鬚九	4.9	5.4	51	253.5	4.25	1.5	25	0
捲鬚十	7.3	5.05	23	172	9	1.7	65	1
捲鬚十一	8.9	7.15	43	363	7.25	2.25	120	1
捲鬚十二	12.2	7.2	87	372	8.5	2.55	80	1
捲鬚十三	2.1	4.85	8	280.5	4	1.4	25	1
捲鬚十四	4.8	3.85	30	272.5	6.5	1.8	50	0
捲鬚十五	11.5	5.55	40	292	10.25	2.2	165	2

附錄三：(註：紅字為各枝條有無表格之平均值)

次莖枝一		次莖枝二		次莖枝三		次莖枝四	
有	無	有	無	有	無	有	無
2.85	2	2.05	1.25	2.65	3.45	2.6	2.15
3.4	2.3	2.3	1.85	3.2	2	2.4	1.45
2.7	1.05	2.5	2	3.3	2.1	1.7	1.7
2.95	1.65		1.75	3.15		2.35	
2.35	2.05		1.3	2.8		2.1	
2.4			1.65	2.25		1.35	
2.25			1	2.2		2.1	
2.05			1.55	1.9		1.85	
2.05			1.75			1.7	
2.95			1.85			2.15	
			1.25				
			1.3				
			1.65				
2.595	1.81	2.283333	1.55	2.68125	2.68125	2.03	1.766667

【評語】 030324

優點：

1. 內容探討有創意，可再繼續研究探討。
2. 學生表達能力佳，研究架構完整，條理明確。

缺點：

1. 建議增加研究深度，並增加樣本數。
2. 可增加植物構造切片顯微觀察。