

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物及地球科學科

第一名

031701

無所不捲

學校名稱：宜蘭縣立復興國民中學

作者： 國二 張容禎 國二 林巧文 國一 黃薇婕 國一 方雯儀	指導老師： 陳卉 蘇敬菱
---	--------------------

關鍵詞：向觸性 卷鬚 生長激素

無所不捲

摘要

本研究利用佛手瓜的卷鬚探討向觸性的原理。佛手瓜捲曲過程我們將其分成兩個階段，第一階段卷鬚末端會先勾住纏繞物纏繞 1~3 圈，第二階段會出現逆向轉折區，並以 360 度的旋轉方式產生數圈捲曲後，卷鬚末端會開始形成膨大構造，增加卷鬚固定的力量。實驗中添加生長激素及離素至卷鬚後，發現其不影響捲曲的第一階段，卷鬚都可纏繞物體。但在第二階段添加生長激素卷鬚捲度明顯比對照組佳，而加入離素則無法形成螺旋捲曲。利用玉米芽鞘證明已捲卷鬚比未捲卷鬚含更多生長激素，我們認為生長激素在佛手瓜捲曲過程的第二階段中，扮演產生捲曲及維持結構穩定之重要角色。與葡萄科、旋花科、蘿藦科、薯蕷科植物相比，佛手瓜卷鬚組織中含豐富似彈簧的構造，我們發現在卷鬚捲曲過程的第一、二階段皆會受到溫度及酸鹼度的影響，我們亦已證明出此構造為蛋白質的成份，因此我們認為此構造參與佛手瓜卷鬚捲曲過程的兩個階段。

壹、研究動機

我家附近，有一大片“佛手瓜”的菜園，每次經過那裡時，都會看到佛手瓜利用自己的卷鬚盡一切力量，攀附到柵欄或是其他植物上，而且每個卷鬚都似乎按照某一種規律纏繞，是什麼力量讓它能夠形成捲曲呢？我們對它的卷鬚產生了好奇心，因此我們決定把它當做本次科展的研究對象。

貳、研究目的

- 一、瞭解佛手瓜卷鬚的形成。
- 二、探討佛手瓜卷鬚的構造。
- 三、探索佛手瓜卷鬚捲曲形成的過程及末端特殊構造。
- 四、瞭解佛手瓜卷鬚捲曲產生逆向纏繞現象的原因。
- 五、探究佛手瓜卷鬚的向觸性。
- 六、佛手瓜卷鬚與其他攀附性植物之比較。

參、研究器材

佛手瓜、剪刀、相機、小刀、顯微鏡、量角器、培養皿、昆蟲針、保麗龍板、燈、竹筷子、棉線、彈簧秤、尺、鐵絲、膠帶、恆溫培養箱、紙箱、蛋白質測試劑、滴管、載玻片、蓋玻片、生長激素、離素、筆記型電腦、網路攝影機(Web Camera)、「視像鏡頭觀察系統」軟體

肆、研究步驟

- 一、卷鬚的形成處及內部構造
 - (一) 佛手瓜卷鬚的形成及內部構造

- 1.實地觀察佛手瓜卷鬚的生長位置。
- 2.採回佛手瓜莖、葉柄及卷鬚等構造，徒手切片後用複式顯微鏡觀察。



(二) 測量已捲卷鬚各部位的長度

1. 卷鬚各部位名稱定義如下：

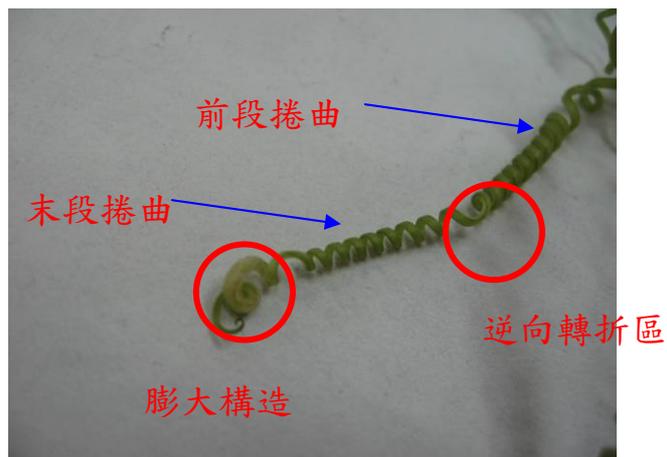
【膨大構造】：卷鬚在完成捲曲後，會在卷鬚末端纏繞物處形成一膨大特殊構造。

【末段捲曲】：卷鬚末段所形成的捲曲。

【逆向轉折區】：此處為卷鬚兩端進行反向捲曲的位置。

【前段捲曲】：卷鬚前段所形成的捲曲。

【卷鬚基部】：卷鬚最前端未形成捲曲處。



2.先將採好的已捲卷鬚基部一端用棉線綁著，再用昆蟲針將棉線沿著卷鬚外側固定，然後用色筆標示卷鬚的不同部位，如下圖所示。完成後，將棉線取下測量卷鬚各部位長度。



二、探索佛手瓜卷鬚捲曲形成的過程及產生逆向纏繞現象的原因

- (一) 選定一卷鬚，設定好纏繞物，拍照並觀察紀錄卷鬚捲曲的過程。
- (二) 探討佛手瓜卷鬚逆向纏繞的原因

我們認為佛手瓜卷鬚逆向纏繞的原因有 2 種假設，一為形成需要，往兩端 360° 旋轉，形成捲曲；另一假設為此形式的卷鬚較穩定，較不易受外力影響而搖晃。因此針對二個假設，我們設計以下實驗：

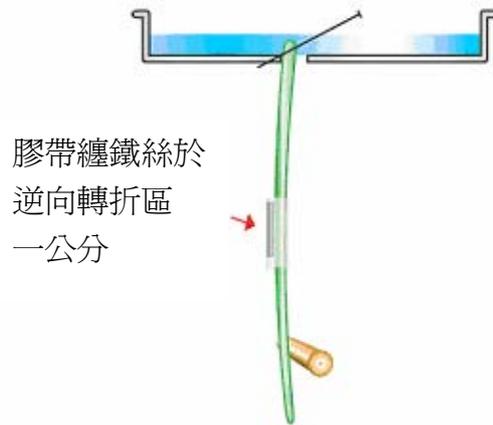
1.鐵絲模擬實驗

- (1) 實際算出佛手瓜已捲卷鬚螺旋數之平均值。
- (2) 用鐵絲模擬螺旋數相同，一為同向捲，一為反向捲之卷鬚。
- (3) 分別以 20g、40g、60g、80g、100g 法碼固定在轉折區，紀錄其偏移的角度。



2. 逆向轉折區實驗

- (1) 承一(二)實驗結果得知每個卷鬚逆向轉折區的位置及長度。
- (2) 我們在逆向轉折區加上鐵絲，纏上膠帶，將卷鬚以昆蟲針固定於塑膠盤上，末端觸碰筷子，紀錄其逆向轉折區發生的變化並拍照。如下圖所示。



【逆向轉折區實驗示意圖】

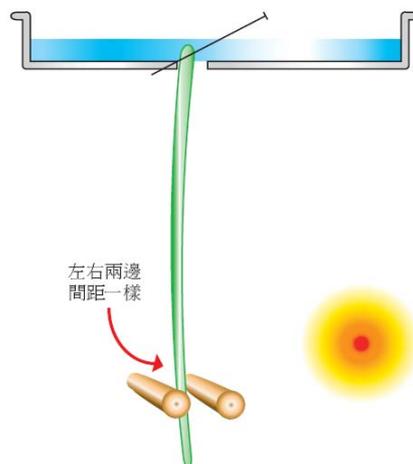
三、探討卷鬚末端及形成捲曲後的特殊構造。

選取卷鬚末端膨大的構造，徒手切片並用顯微鏡觀察。

四、探究佛手瓜卷鬚纏繞的原理

(一) 佛手瓜卷鬚照光是否影響向觸性

1. 取數條卷鬚，用昆蟲針將卷鬚固定於塑膠盤上，並放上濕棉花。
2. 一端放置燈源（冷光）並在卷鬚（末端 3 cm）靠光與背光處放置筷子，間距皆約為 1cm，如下圖所示。並將結果紀錄並拍照。

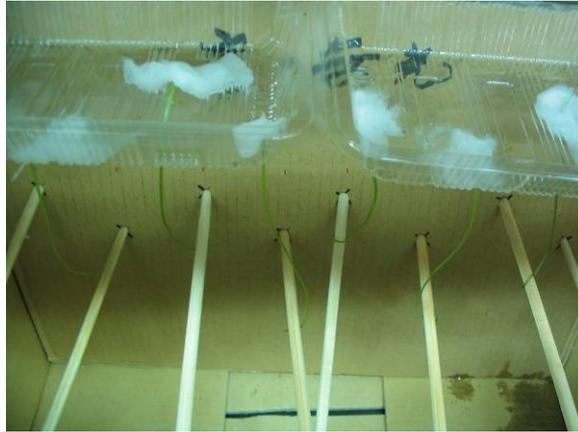


【卷鬚照光是否影響向觸性實驗示意圖】

(二) 生長激素是否會影響向觸性

1. 生長激素實驗

- (1) 取數條卷鬚，用昆蟲針將卷鬚固定於塑膠盤上。
- (2) 設計七組實驗：一組加水，另外五組則分別添加 10^2 ppm、 10^1 ppm、1ppm、 10^1 ppm、 10^2 ppm 不同濃度的IAA及離素 500ppm，並用筷子碰觸卷鬚末端，如下圖所示。並將結果紀錄並拍照。

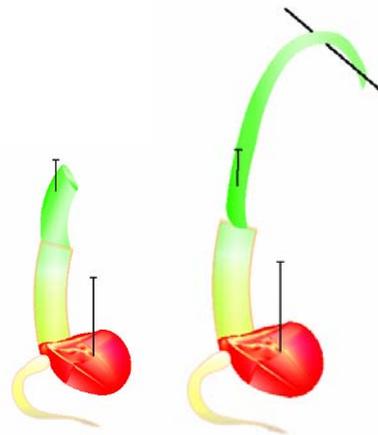


2. 玉米芽鞘實驗

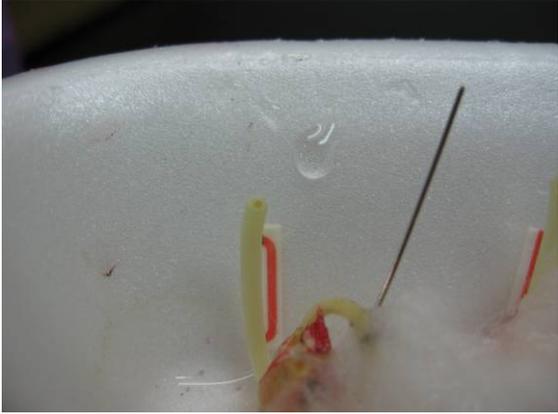
- (1) 將玉米栽種於暗室之中，待其發芽將其芽點剪掉。
- (2) 放上已捲卷鬚及成熟未捲卷鬚末端，用昆蟲針將其固定，觀察玉米的變化。如下圖。



玉米的培養方式



【玉米芽鞘實驗示意圖】

	
<p>先將玉米固定</p>	<p>測量玉米芽鞘彎曲情況</p>

3. 生長激素何時產生

- (1) 取數條卷鬚，用昆蟲針固定於塑膠盤上。分成三組：一組為在末端尚未纏繞物體時剪去 3.5 公分；一組為在末端已纏繞物體時剪去 3.5 公分；另一組為對照組。
- (2) 並將結果紀錄並拍照。

4. 末端是否含有生長激素

- (1) 取數條卷鬚，用昆蟲針固定於塑膠盤上。分成二組：一組為在末端尚未纏繞物體時剪去 3.5 公分；一組為末端尚未纏繞物體時剪去 3.5 公分並加入生長激素 10 ppm。
- (2) 並將結果紀錄並拍照。

(三) 溫度是否會影響向觸性

在我們實驗「佛手瓜卷鬚照光是否影響向觸性」時，我們原先使用會發熱的燈泡，發現溫度對卷鬚的捲度及捲曲速率有產生很大的反應，所以我們做了以下的實驗：

1. 取數條卷鬚，用昆蟲針將卷鬚固定於塑膠盤上，並放上濕棉花，並用筷子碰觸卷鬚末端。
2. 分別置於 4°C、20°C、30°C、40°C，並將結果紀錄並拍照。

(四) 酸鹼值是否會影響向觸性

1. 配 HCl 溶液 $10^{-4}M$ 、 $10^{-3}M$ 、 $10^{-2}M$ 、 $10^{-1}M$ 、1M 500 毫升及 NaOH 溶液 $10^{-6}M$ 、 $10^{-4}M$ 、 $10^{-3}M$ 、 $10^{-2}M$ 、 $10^{-1}M$ 、1M 500 毫升。
2. 取數條卷鬚固定後，上方放置 HCl 溶液、NaOH 溶液、純水，並將結果紀錄並拍照。

(五) 探討似彈簧構造的物質組成

在我們實驗「溫度是否影響向觸性」、「酸鹼值是否會影響向觸性」後，證實了兩者皆對佛手瓜卷鬚的向觸性產生很大的影響，所以我們懷疑之前實驗觀察到的似彈簧構造可能為蛋白質，為了證明所以我們做了以下的實驗：

1. 使用 Biuret 法利用肽鍵物質在鹼性溶液中與硫酸銅作用。
2. 調配蛋白質測試劑：酒石酸鉀鈉〔 $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ 〕 9g、硫酸銅 3g、碘化鉀 5g 加入氫氧化鈉 0.2M 配成 1000ml 溶液
3. 將試劑滴入卷鬚切片中，觀察似彈簧的構造顏色是否發生變化。

(六) 了解似彈簧構造分布的情況

使用 Biuret 法使卷鬚中的似彈簧構造變色以利觀察。

五、佛手瓜卷鬚與其他攀附性植物之比較

(一) 其他植物是否有似彈簧構造的存在

變態莖中有一類為蔓莖，蔓莖又分為走莖、纏繞莖、卷鬚莖，我們選用數種纏繞莖和卷鬚莖、卷鬚葉來做比較。從田園中摘取同為葫蘆科的絲瓜與苦菜的卷鬚，再另採以下植物莖的末端：葡萄科的山葡萄、旋花科的牽牛花及地瓜、薯蕷科的山藥、蘿藦科的菟蘭、豆科的菜豆，徒手切片並利用 Biuret 法，觀察是否具似彈簧構造。

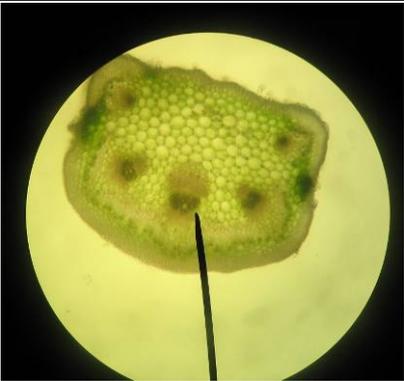
(二) 似彈簧構造與植物水分運輸之關係

我們查詢植物解剖的相關書籍，我們發現環紋導管與螺紋導管的外形與我們觀察到的似彈簧構造最為相似。導管按照細胞壁厚薄分佈的不同，可區分為環紋導管、螺紋導管和孔紋導管三種。因此我們利用紅墨水測試其是否具有運輸水分的能力，以瞭解兩者是否為同一構造。

伍、研究結果

一、卷鬚的形成處及構造

(一) 佛手瓜卷鬚的維管束排列為 C 字形，故其卷鬚為「葉卷鬚」。

		
【卷鬚的橫切面】 維管束呈 C 字形排列，中央無髓腔	【葉柄的橫切面】 維管束不呈完整環狀排列，中央無髓腔	【莖的橫切面】 維管束排列成環狀，中央有髓腔

(二) 佛手瓜已捲卷鬚各部位之長度 (單位: cm)

卷鬚 部位 卷鬚 編號	末端	末段捲曲	末段圈數	逆向轉折區	前段捲曲	前段圈數	基部	總長	總圈數
1	2.5	16.1	15	0.9	6.6	6	1.2	27.3	21
2	2.5	6.1	6	0.9	5.2	12	1.1	15.5	18
3	3.9	15.7	13	0.7	1.9	2	0.6	22.8	15
4	2.9	14.3	13	0.7	7.1	10	1.1	26.2	23
5	2.7	5.6	5	0.9	8.5	7	1.6	19.3	12
6	3.6	11.9	7	1.3	10.9	10	0.8	27.2	17
7	2.4	3.1	5	1.3	15.4	13	1.2	23.4	18
8	3.8	10.9	14	1.3	4.2	13	0.6	22.5	27
9	2.8	12.7	12	0.7	8	10	0.8	25	22
10	2.7	18.5	14	0.6	9.8	14	1.4	33	28
平均	2.98	11.49	10.4	0.93	7.76	9.7	1.04	24.22	20.1

【佛手瓜已捲卷鬚各部位長度結果表】

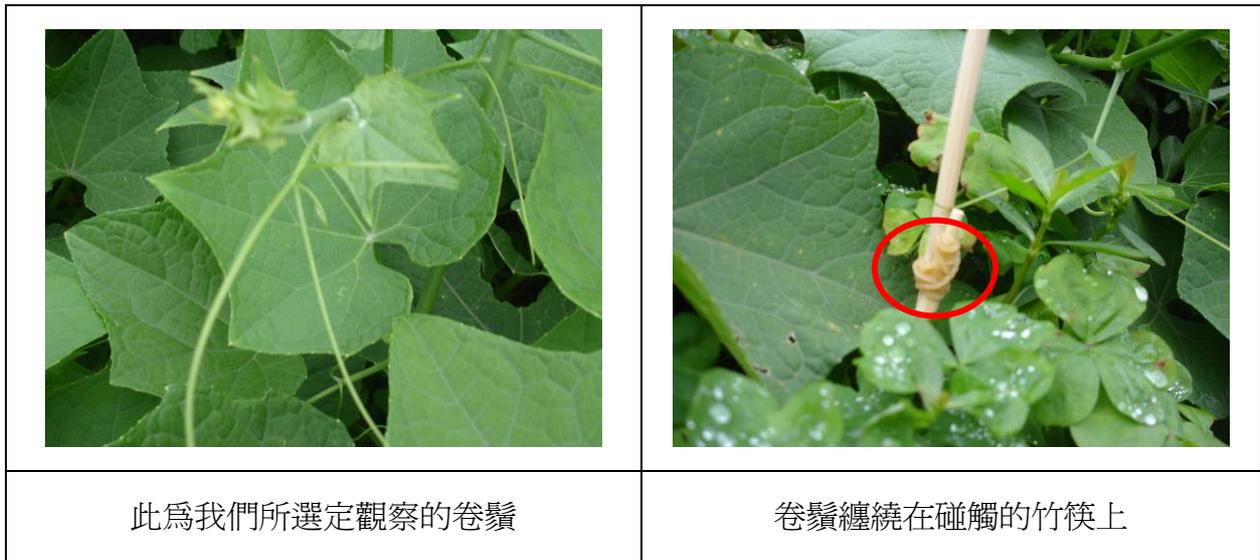
佛手瓜卷鬚長短差異頗大，但不管卷鬚的長度為何，末端、逆向轉折區、基部的位置及長度皆為固定值。卷鬚末端平均長度為 2.98 cm；逆向轉折區平均長度為 0.93 cm；基部平均長度為 1.04 cm。即卷鬚末端約長 3cm，逆向轉折區位於剩下長度減去基部長度一半的位置，長約 1cm。

(三) 卷鬚的內部構造(尙未使用蛋白質試劑)

	
<p>已捲卷鬚的似彈簧構造位於維管束中間，並有互相纏繞的現象</p>	<p>未捲卷鬚距末端 3 cm，發現跑出細長的似彈簧構造</p>

二、探索佛手瓜卷鬚捲曲形成的過程及產生逆向纏繞現象的原因

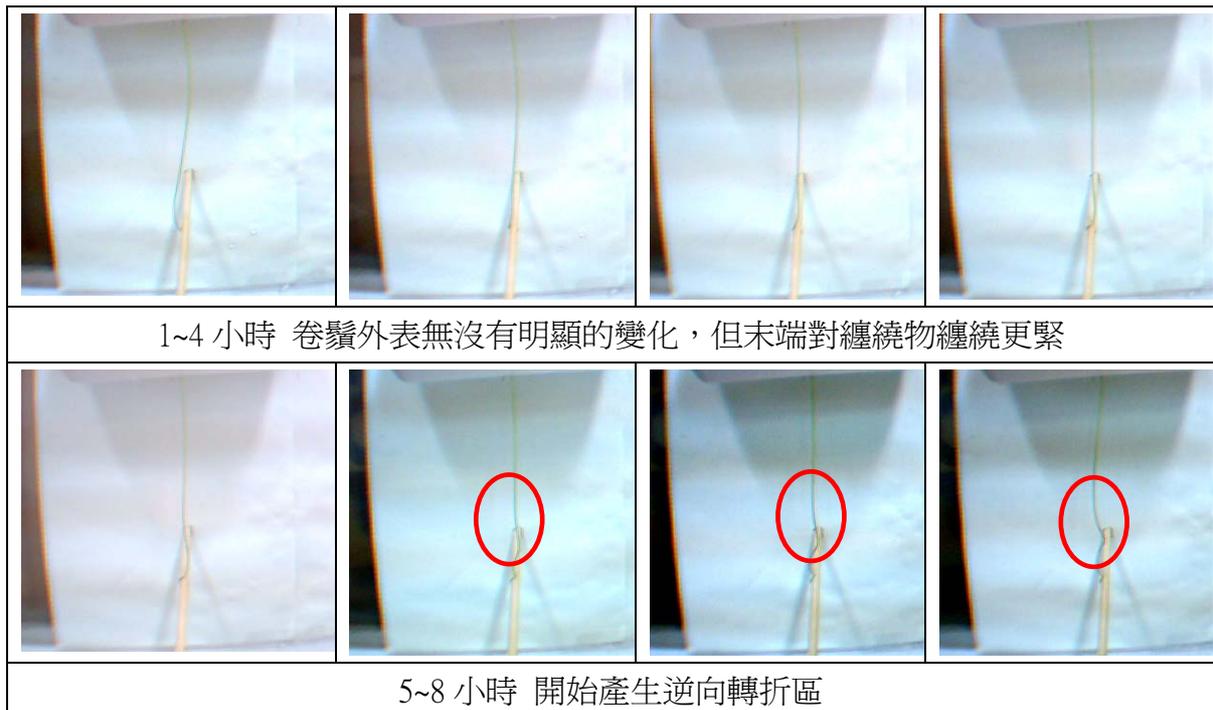
(一) 野外觀察

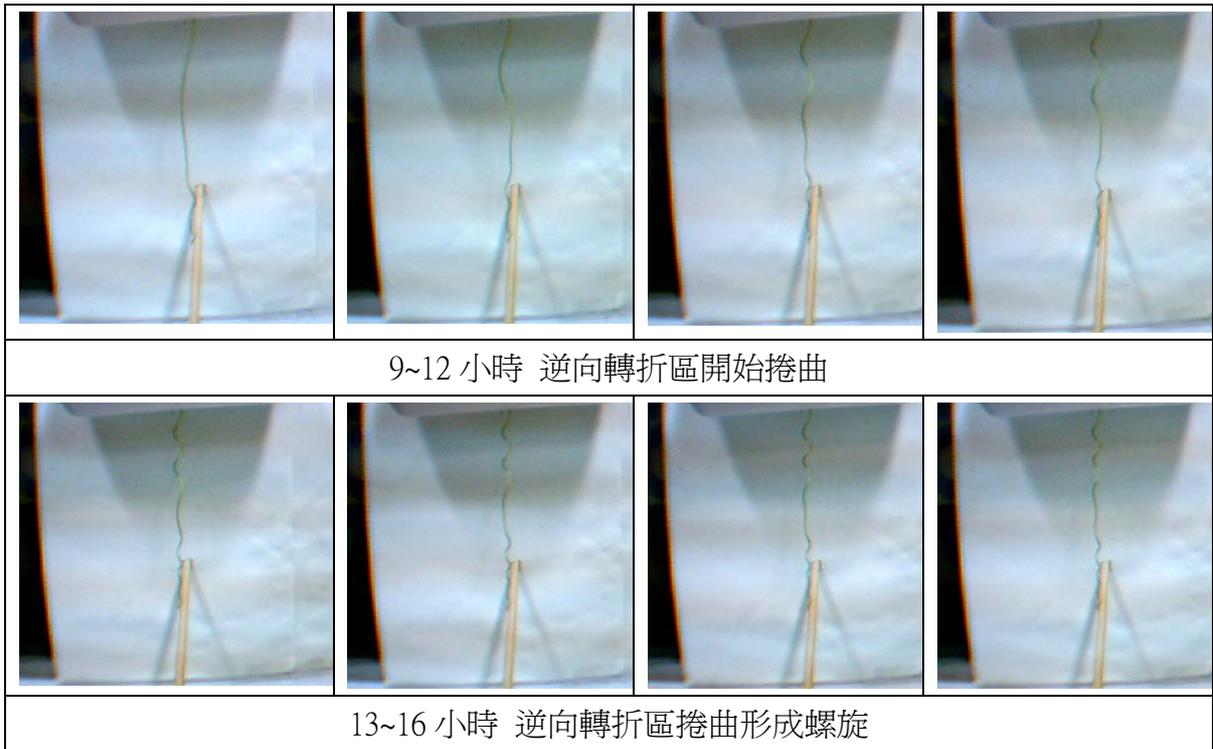


- 1.卷鬚纏繞竹筷的過程首先由卷鬚末端 3 cm處接觸後約 5 分鐘開始纏繞，約 1 小時可以牢牢攀住。
- 2.在約 8 小時的時間內，卷鬚中間不僅會拱起形成一個分界區(此即為逆向轉折區)，亦會從此處往卷鬚兩端捲曲，不到 12 小時的時間就會在兩端形成如兩個反向彈簧的卷鬚。因此從碰觸到形成完整捲曲僅需約 24 小時就可完成。

(二) 採集卷鬚，設定好纏繞物，拍照及觀察卷鬚捲曲的過程。

卷鬚末端纏繞筷子為卷鬚向觸性的第一階段，接著出現逆向轉折區，形成螺旋捲曲，此為第二階段。



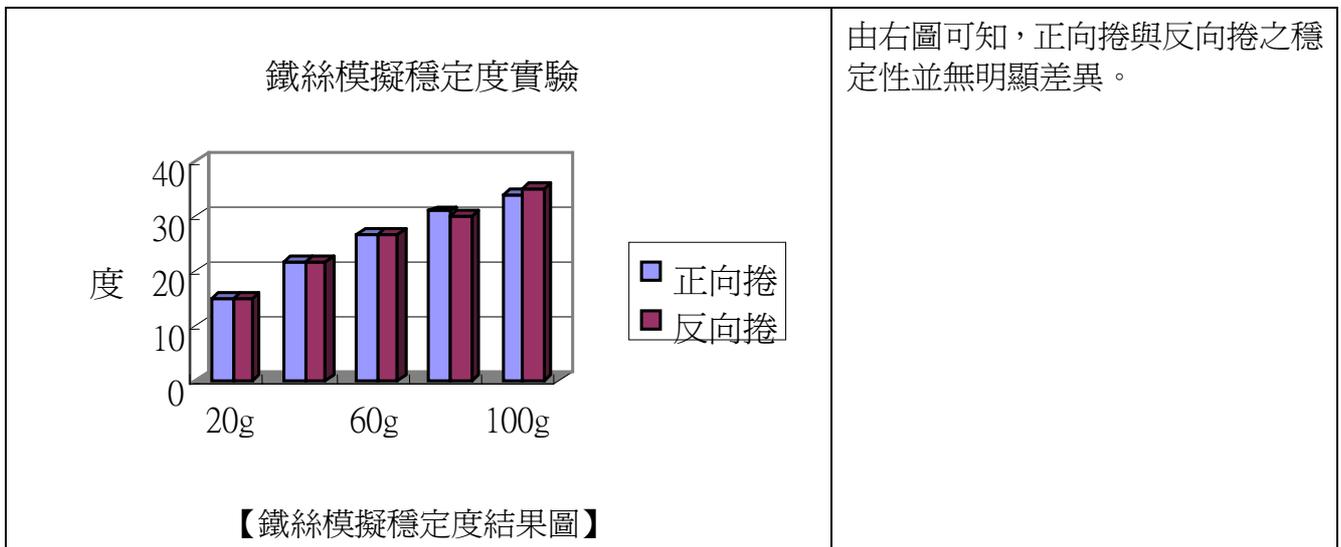


卷鬚在野外與在實驗室，皆會形成捲曲。且我們亦發現，若卷鬚末端往左勾，逆向轉折區會向順時鐘轉；若末端往右勾，則反之。

三、探討佛手瓜卷鬚逆向纏繞的原因

(一) 鐵絲模擬實驗

承實驗結果(一)、(二) 逆向轉折區都均約在扣除末端 3 cm處、基部 1 cm卷鬚的一半，長約 1 cm。



本實驗結果證明卷鬚逆向纏繞的存在原因並非增加穩定性。

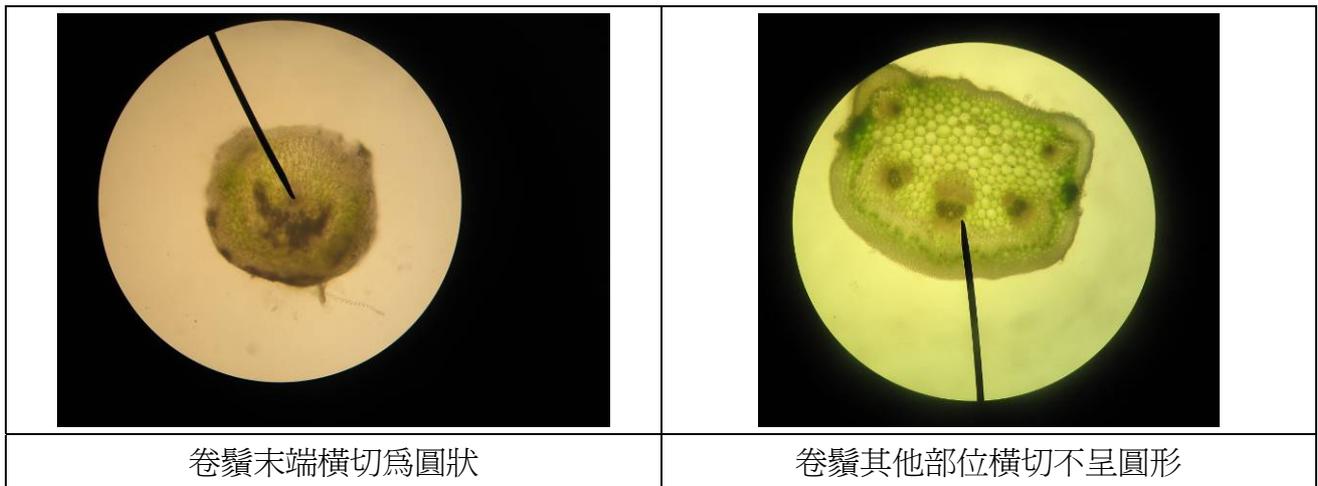
(二) 逆向轉折區實驗



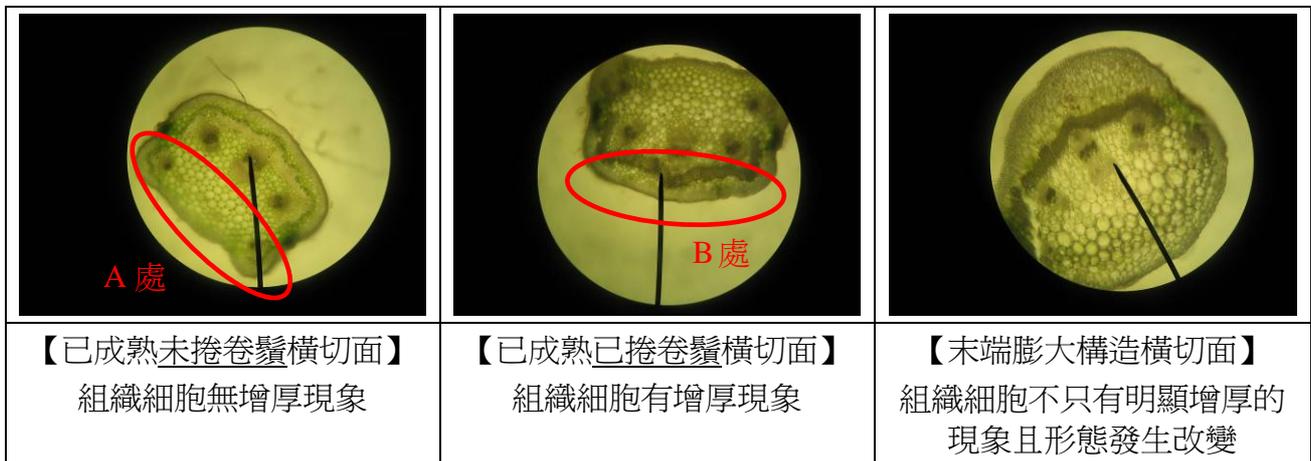
佛手瓜卷鬚逆向纏繞的原因與第二種假設有關係，即逆向轉折區的產生是形成的需要。

四、探討卷鬚末端及形成捲曲的特殊構造

根據現場及採集標本的觀察，佛手瓜尖端的卷鬚在纏繞物體後末端會膨大。卷鬚不僅可以纏繞棍狀物(木棍、植物的莖)，亦可纏繞葉子，有時力量甚至大到會使葉子破裂。因此膨大構造膨大的型態會視纏繞物形狀而定，以增加纏繞的力量。



卷鬚末端卷鬚纏繞物體的方向，即為受刺激的方向。



我們發現已成熟已捲卷鬚橫切面中 A 處位於已捲卷鬚內側， B 處位於已捲卷鬚外側。隨著卷鬚捲曲時間愈久，細胞層愈厚。因此卷鬚捲曲過程何處朝內何處朝外，在卷鬚形成時即已決定。

五、探究佛手瓜卷鬚的向觸性

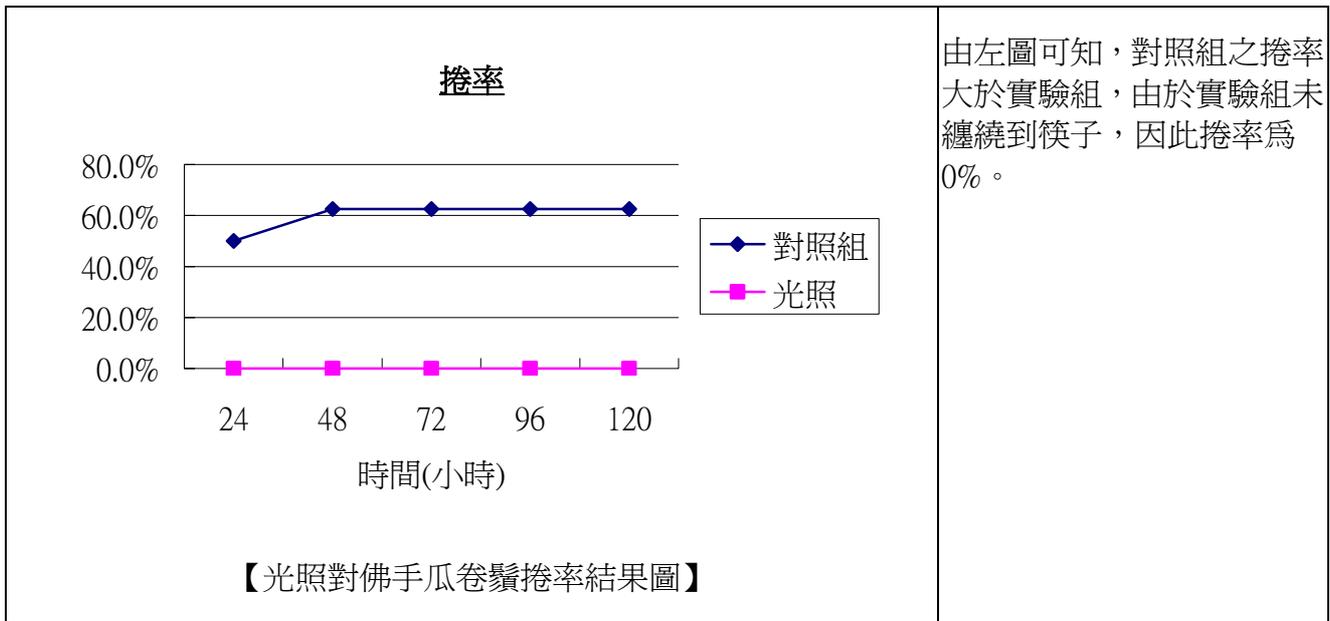
在進行以下實驗前我們先做了預備實驗，確定了佛手瓜卷鬚碰觸位置不同會影響卷鬚捲曲的形成。卷鬚捲曲的速率依序為碰觸末端 3 cm > 1/4 > 1/3 > 1/2，佛手瓜卷鬚碰觸卷鬚愈末端，卷鬚捲曲速率愈快。

我們先將圖表中的名詞定義如下：

1. 我們將卷鬚末端纏繞物體之現象稱「捲」。將「捲」之個數除以總數換算成百分比稱「捲率」。
2. 我們將卷鬚的螺旋數相加，再取所得總數之平均值，稱「捲度」。「捲度」值越高代表卷鬚螺旋數高。

(一) 佛手瓜卷鬚照光是否影響卷鬚捲曲的形成

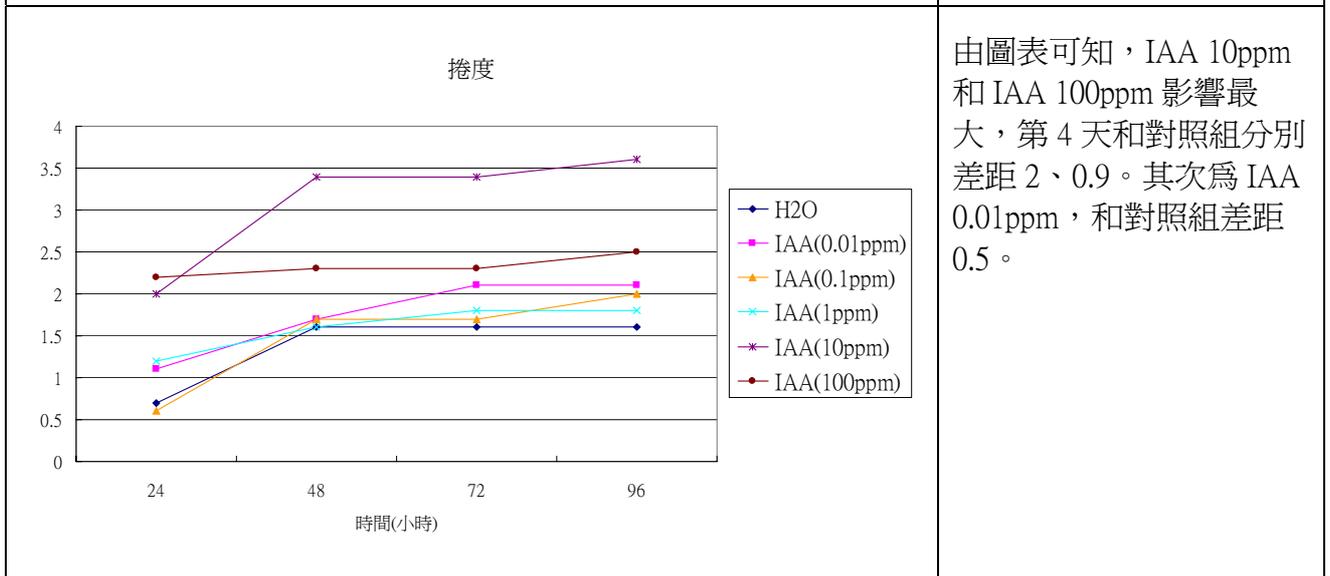
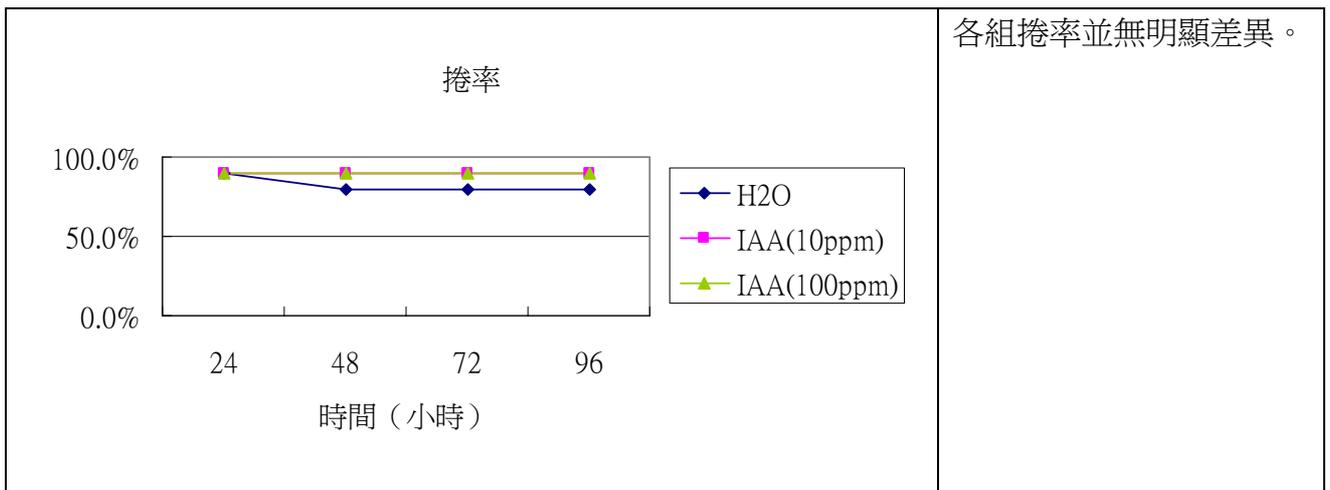
<p>33.3% 33.3% 33.3%</p> <p>【佛手瓜卷鬚照光是否影響卷鬚捲曲結果圖】</p>	<p>【靠光不捲】：卷鬚靠向光源但末端未纏繞筷子。</p> <p>【逆光不捲】：卷鬚逆向光源但末端未纏繞筷子。</p> <p>【中間不捲】：卷鬚未靠向任何一邊且末端未纏繞筷子</p> <p>由此圖可知，靠光：逆光：中間=1：1：1，都沒有纏繞筷子的現象。</p>
<p style="text-align: center;">自捲率</p> <p>80.0% 60.0% 40.0% 20.0% 0.0%</p> <p>24 48 72 96 120</p> <p>時間(小時)</p> <p>【光照對佛手瓜卷鬚自捲率結果圖】</p>	<p>此處自捲包含末端向前後方翹起之卷鬚數目。</p> <p>由左圖可知，實驗組之自捲率大於對照組，在實驗 120 小時後，兩組相差 47.7 %。</p>

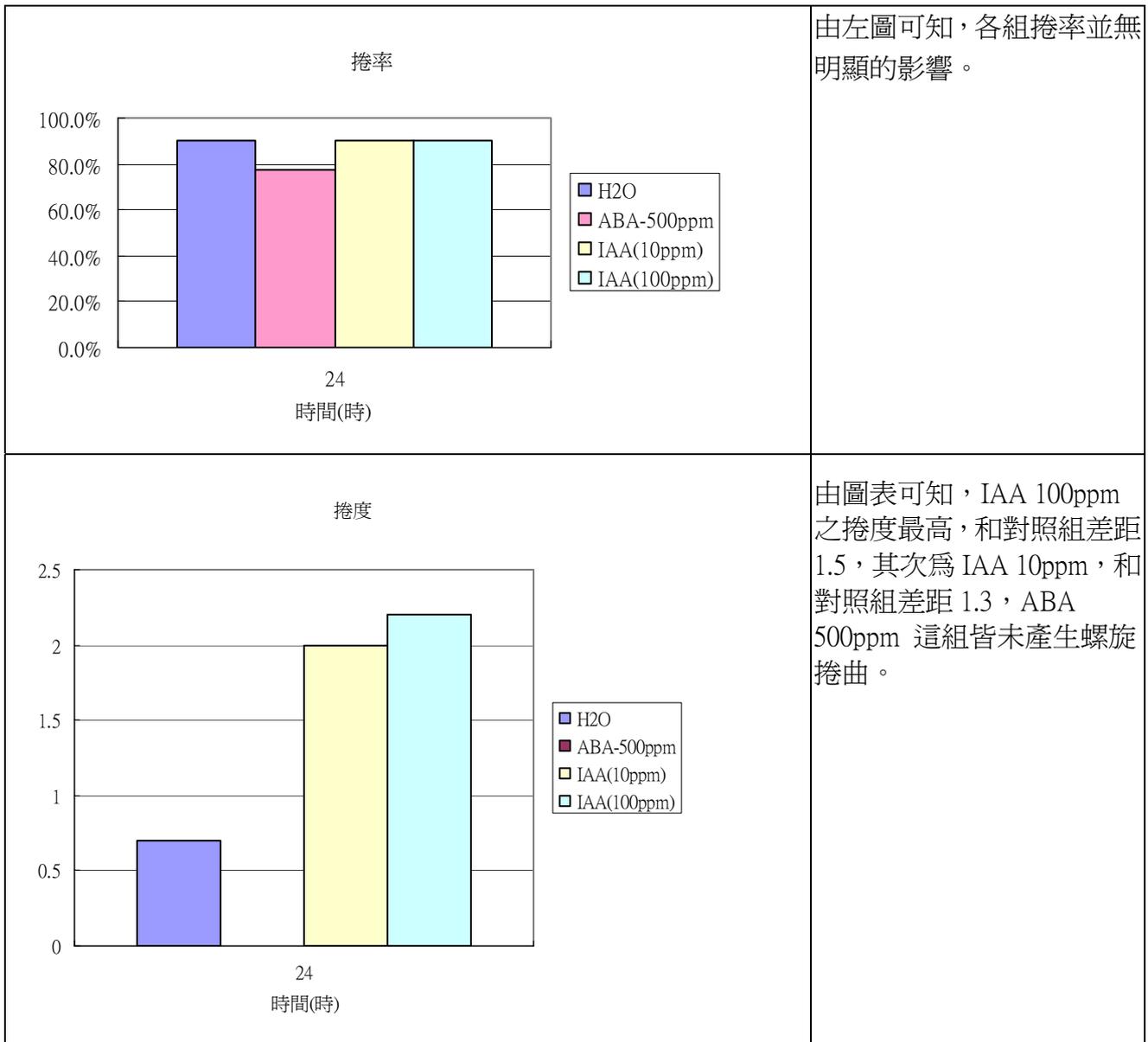


卷鬚照光與否，不會影響卷鬚捲曲的方向。

(二) 生長激素是否會影響卷鬚捲曲的形成

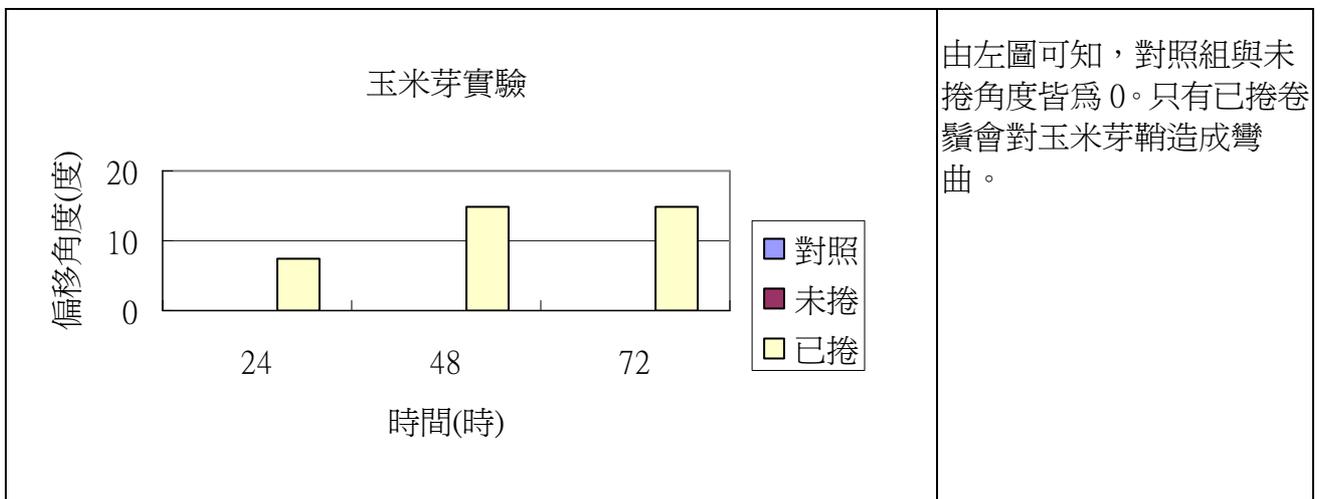
1. 生長激素實驗





由結果可知，生長激素影響捲度不影響捲率；且 IAA 100ppm 和 IAA 10ppm 的影響最大。

2.玉米芽鞘實驗-



已捲卷鬚對玉米芽鞘彎曲的影響大於未捲卷鬚。

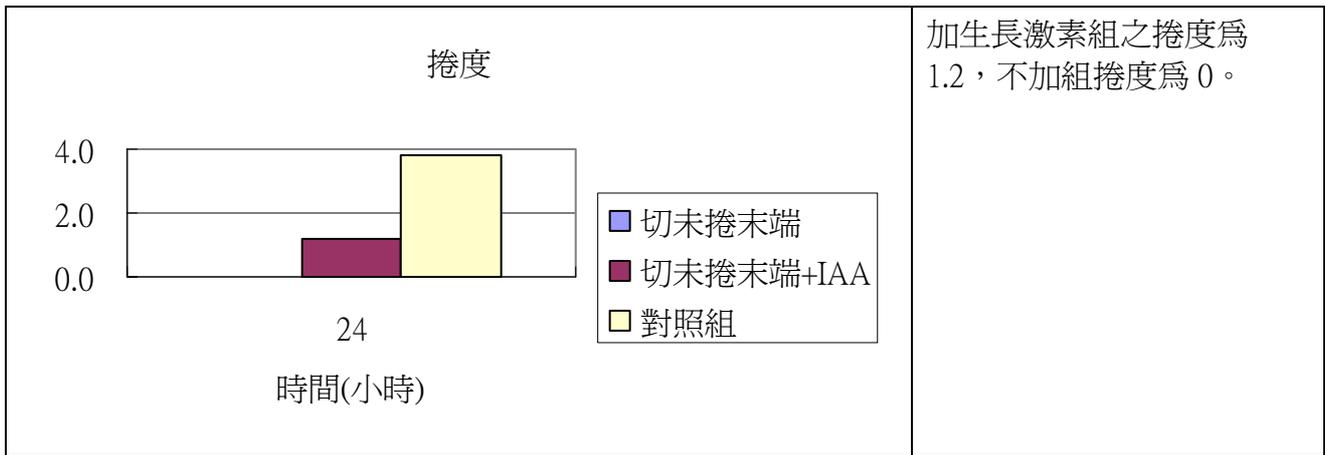
3. 生長激素何時產生

<p style="text-align: center;">捲率</p> <p style="text-align: center;">24 時間(小時)</p>	<p>對照組之捲率為 80%，另外兩組皆為 30%。</p>
<p style="text-align: center;">捲度</p> <p style="text-align: center;">24 時間(時)</p>	<p>對照組捲度為 3.8 和已捲組相差 3.1，未捲組為 0。</p>

此實驗結果我們可知生長激素應在卷鬚纏繞後為末端所形成。

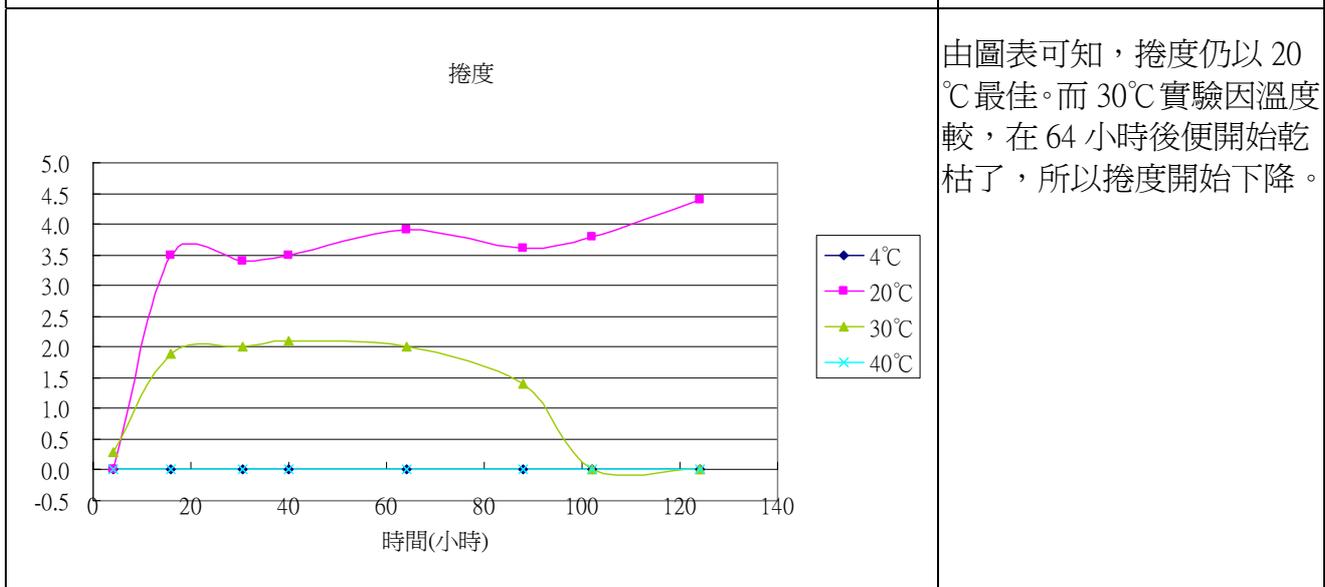
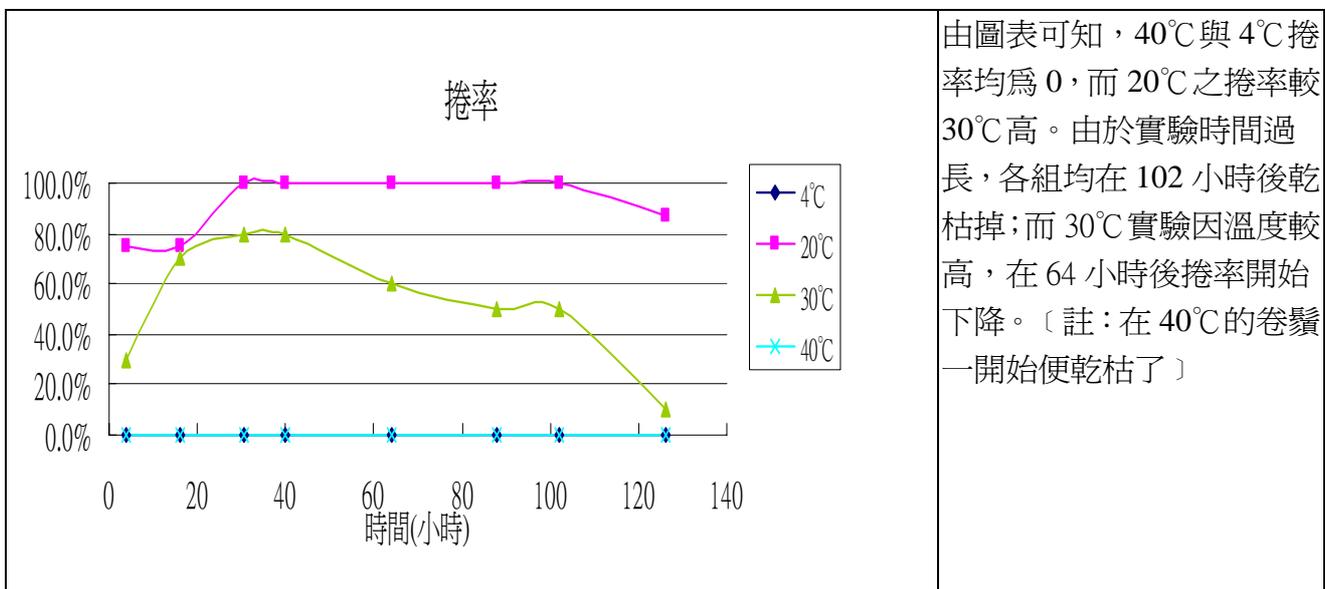
4. 末端是否含有生長激素

<p style="text-align: center;">捲率</p> <p style="text-align: center;">24 時間(小時)</p>	<p>切未捲末端和切未捲末端+IAA 兩組差別並無明顯差異。</p>
--	------------------------------------



由本實驗結果可知，生長激素影響捲度不影響捲率。去除卷鬚末端，卷鬚無法形成螺旋捲曲。

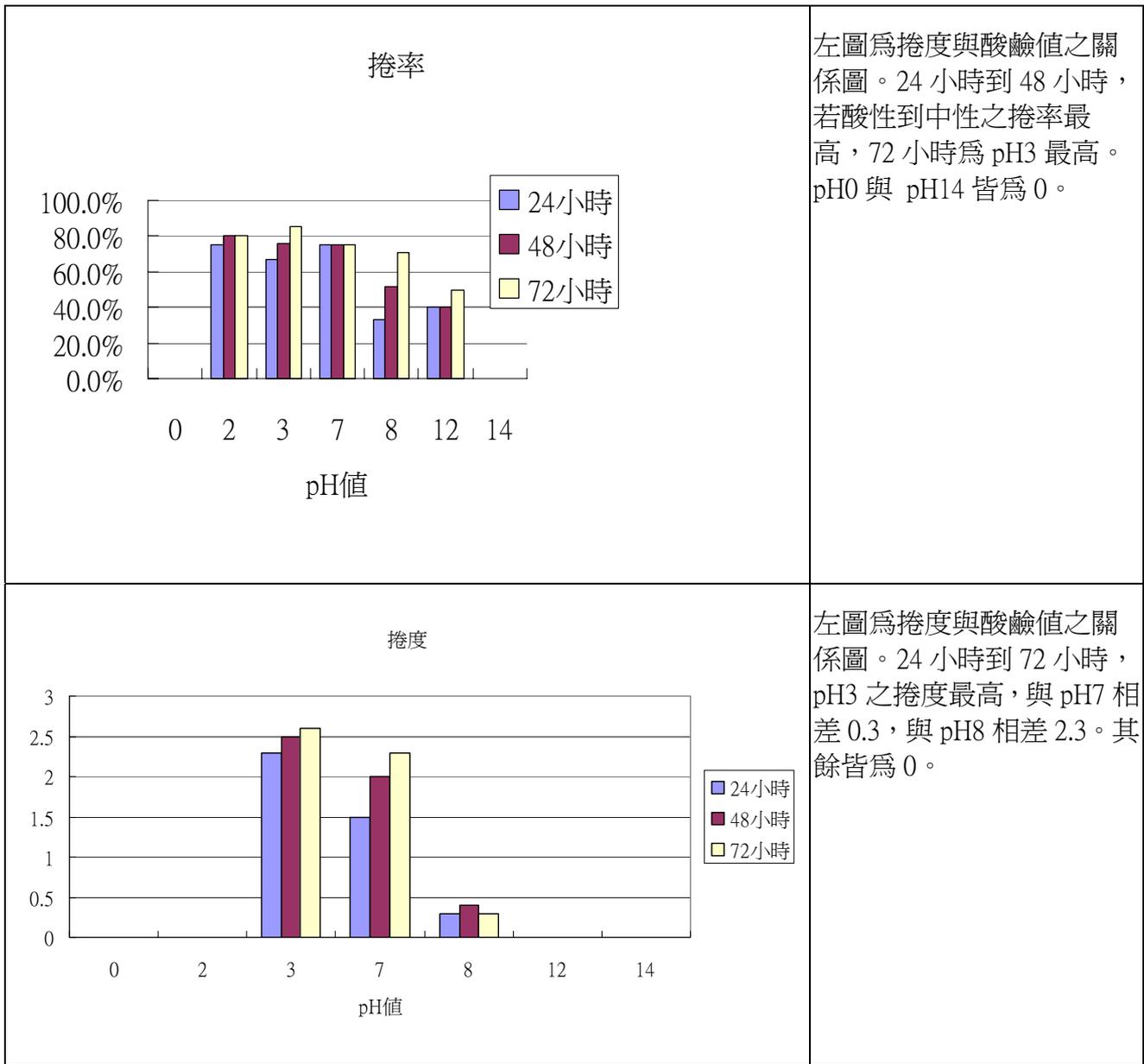
(三) 溫度是否會影響卷鬚捲曲的形成



我們發現到卷鬚之向觸性會受到溫度所影響，而卷鬚理想生長溫度為 20°C。

(四) 酸鹼度是否會影響卷鬚捲曲的形成

<p style="text-align: center;">捲率</p> <p style="text-align: center;">時間(小時)</p>	<p>由圖可知酸性在 75 小時前捲率大於鹼性，75 小時後 pH8 捲率最高，其次為 pH3 和 pH7。而 pH14 和 pH0 捲率為 0。</p> <p>整體而言，酸性與中性的捲率較鹼性好。而在 pH14 和 pH0 的環境下卷鬚會受到嚴重的傷害。</p>
<p style="text-align: center;">捲度</p> <p style="text-align: center;">時間(小時)</p>	<p>由圖表可知， pH3 捲度最高，其次為 pH7。而 pH14 和 pH0 捲度為 0。</p> <p>整體而言，弱酸性與中性的捲率較好。</p>



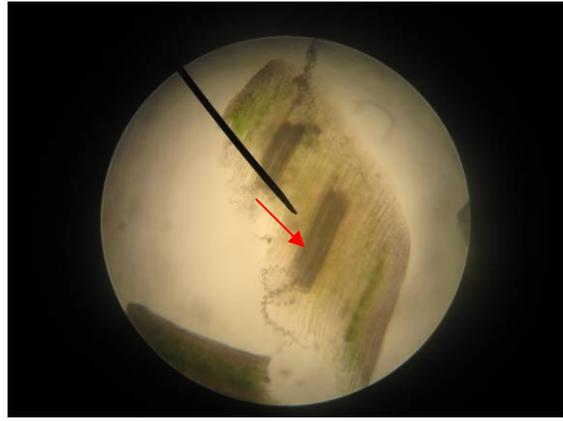
卷鬚的捲率和捲度均受酸鹼值的影響，且卷鬚適合於弱酸的環境。

(五) 探討卷鬚內似彈簧構造的物質組成

之前進行「佛手瓜卷鬚內部構造」實驗時，要發現似彈簧構造，都需待其因切片而裸露出來，我們才能觀察，但經滴入檢測蛋白質試劑後，似彈簧構造的所在位置變得更明顯。在滴入檢測蛋白質試劑後，卷鬚中的似彈簧構造反應結果呈紅紫色，證明似彈簧構造含有蛋白質成分。



卷鬚滴入檢測蛋白質試劑後(橫切面)



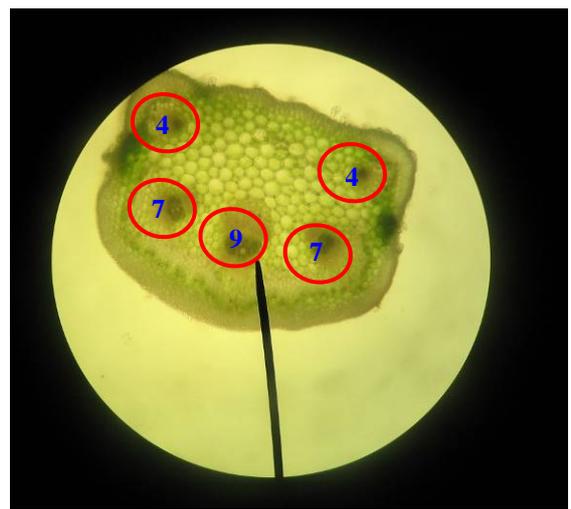
卷鬚滴入檢測蛋白質試劑後(縱切面)

(六) 了解似彈簧構造分布的情況

1. 卷鬚中的似彈簧構造位於維管束中間(木質部及韌皮部之間)，且分成五個區域，除中間外其餘兩兩對稱。下方右圖中紅色圈圈內的數字表示每個維管束內似彈簧構造的數目。

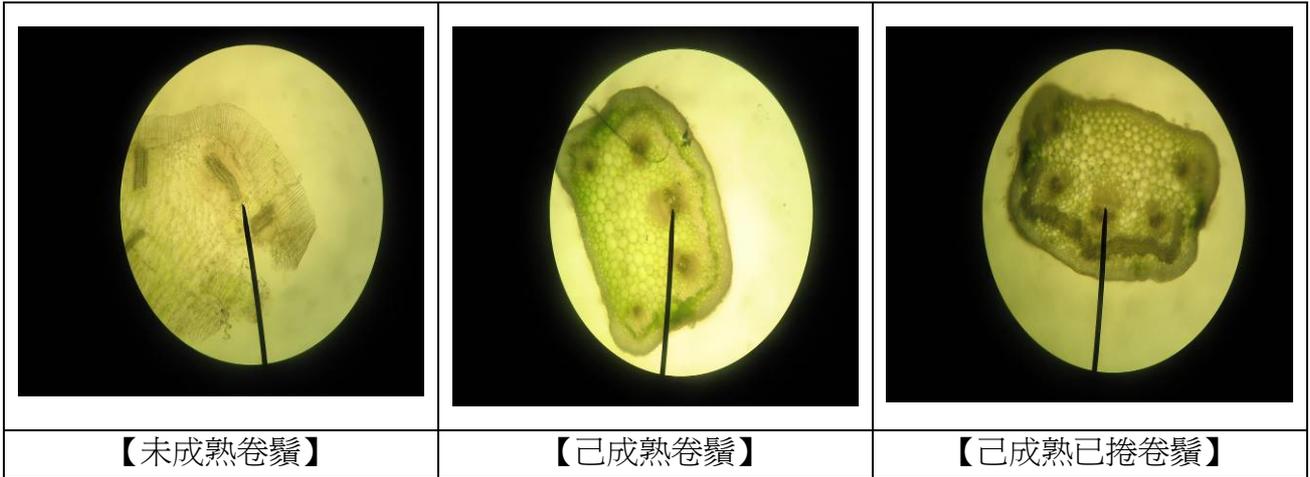


【卷鬚末端的似彈簧構造分佈】



【卷鬚其他部位似彈簧構造之分佈情況】

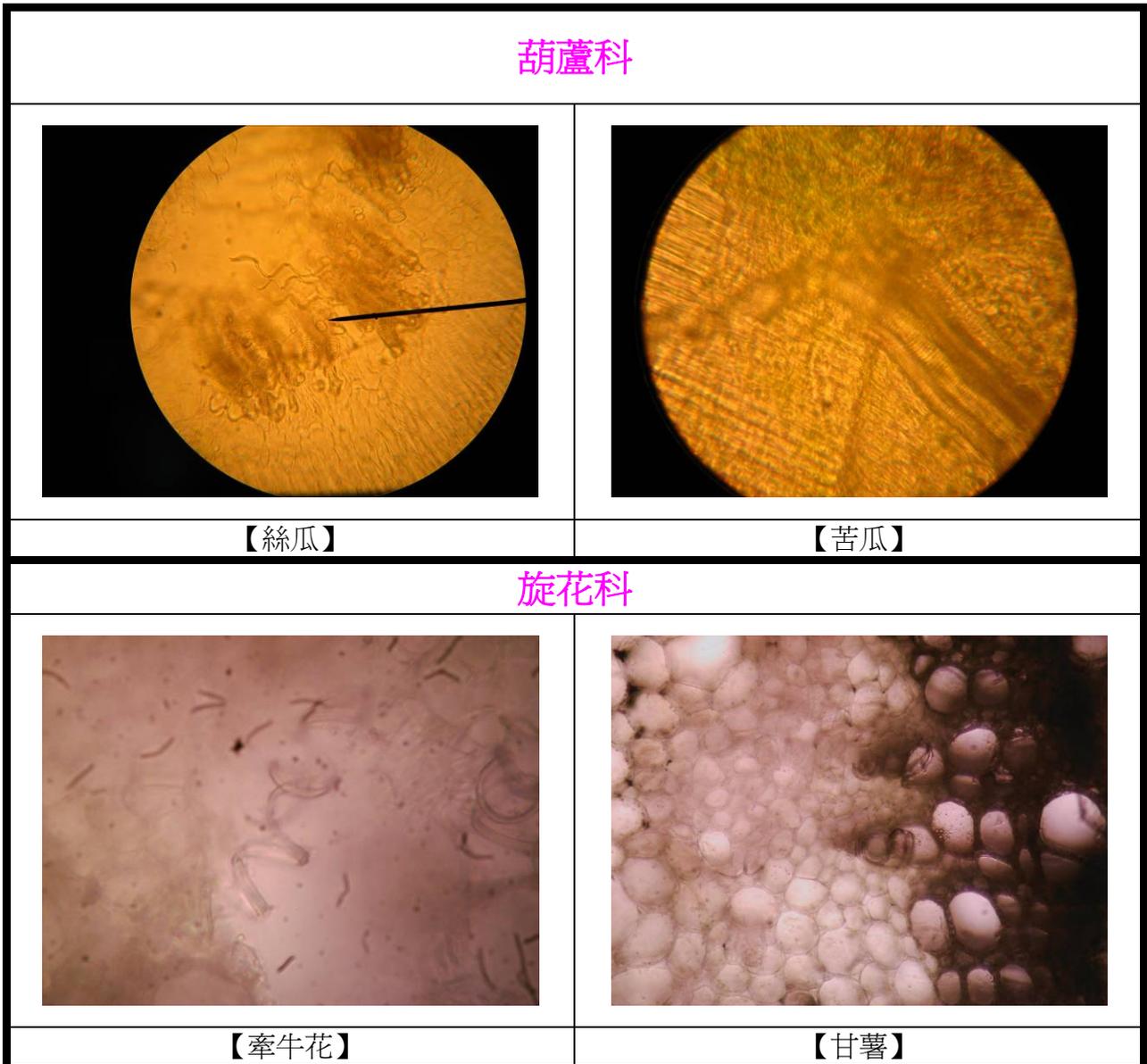
2.似彈簧構造一直存在於佛手瓜卷鬚中



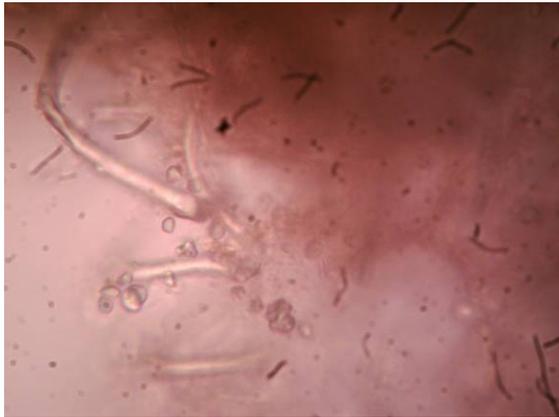
3.卷鬚、葉柄、莖之組織切片中均發現有似彈簧構造，但佛手瓜的卷鬚內含量最豐富。

五、佛手瓜卷鬚與其他攀附性植物之比較

(一)其他植物是否有似彈簧構造的存在

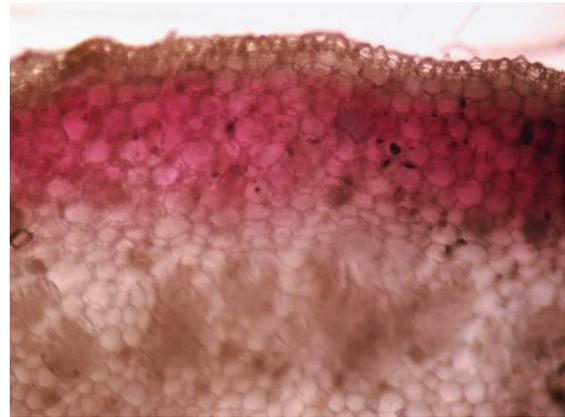


葡萄科



【山葡萄】

蘿藦科



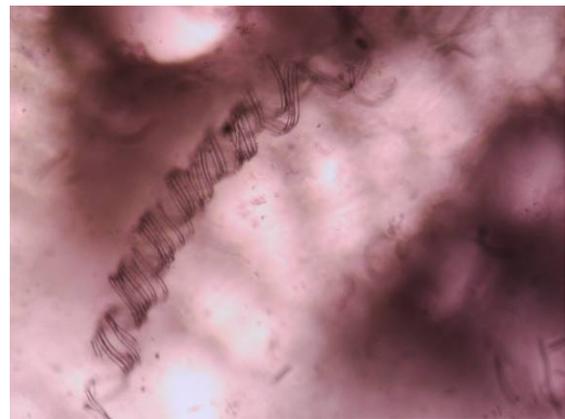
【毬蘭】

豆科



【菜豆】

薯蕷科

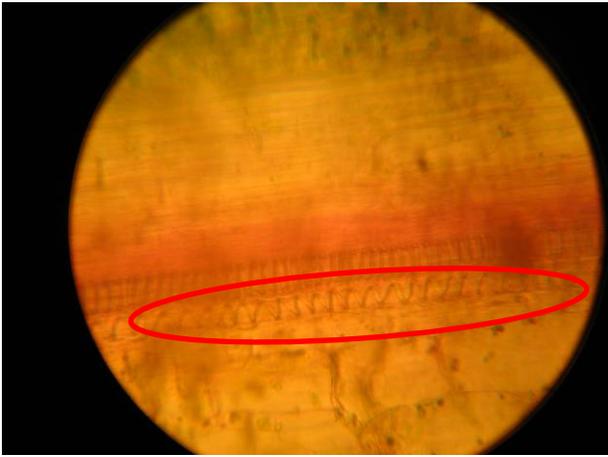


【山藥】

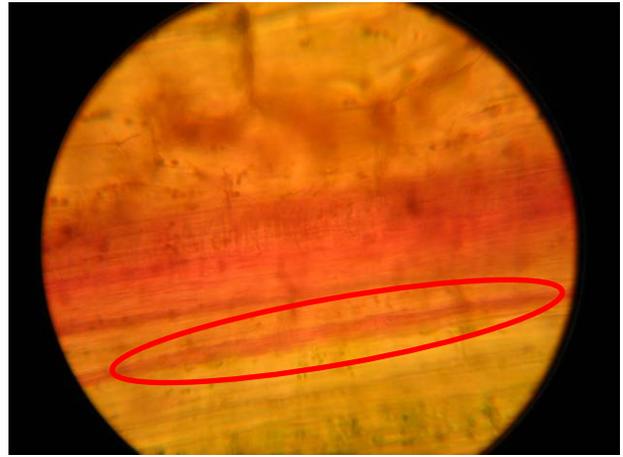
組織切片葫蘆科的絲瓜與苦瓜的卷鬚；葡萄科的山葡萄、旋花科的牽牛花及地瓜、薯蕷科的山藥、蘿藦科的毬蘭莖的末端；豆科的菜豆，我們發現同樣具有卷鬚的絲瓜與苦瓜，似彈簧構造的含量與佛手瓜一樣，皆非常豐富。其他植物中除毬蘭並未發現外，其餘似彈簧構造十分稀少、粗細及螺旋情況亦不同。

(二)似彈簧構造與植物水分運輸之關係

1.佛手瓜

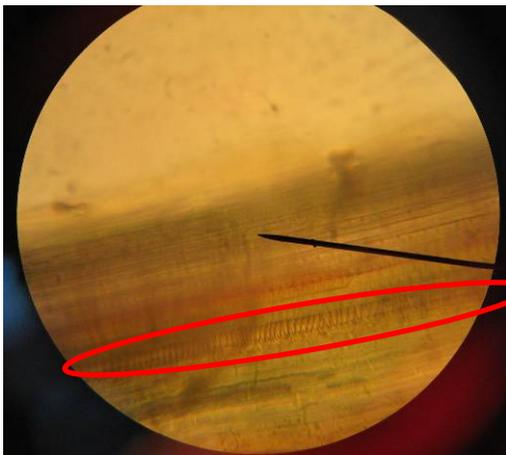


此圖紅色圈圈處明顯看出似彈簧構造無運輸紅墨水

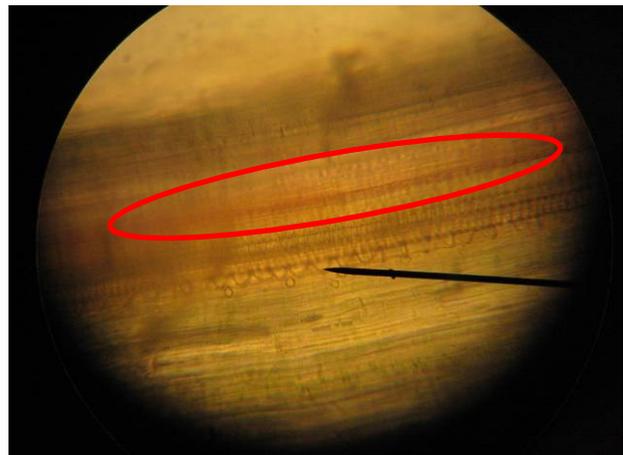


此圖紅色圈圈處明顯看出組織中另有運輸紅墨水的路徑

2.牽牛花



此圖紅色圈圈處明顯看出似彈簧構造無運輸紅墨水



此圖紅色圈圈處明顯看出組織中另有運輸紅墨水的路徑

由此兩种植物的實驗結果可知，似彈簧構造與植物水分運輸無關。

陸、討論

一、卷鬚的形成處及內部構造

- (一) 經過實地野外及顯微鏡的觀察，我們認為佛手瓜的卷鬚為葉卷鬚，其中最有利證據為卷鬚內維管束的排列方式為 C 字形排列；且佛手瓜的莖有髓腔，為空心，葉柄和卷鬚是實心的。
- (二) 由切片得知似彈簧構造一直存在於卷鬚中，並非在進行向觸性時才分泌或形成的。
- (三) 在尚未使用蛋白質試劑時，未捲卷鬚在不同部位觀察到不同豐富程度的似彈簧構造，卷鬚基部幾無發現，但愈往卷鬚末端，似彈簧構造不僅愈多且愈細長，但卷鬚在捲曲之後卻未發現似彈簧構造的存在。可是在我們使用試劑後，卻發現兩者皆有大量似彈簧構造。我們推測造成此一現象的原因可能是卷鬚捲曲後，似彈簧構造結構位置發生改變，較不易因切割外露出來。
- (四) 卷鬚末端為圓狀，和其他部位的似無尾熊狀不同，因此卷鬚末端碰觸時不受方向之影響。

二、探索佛手瓜卷鬚捲曲形成的過程

- (一) 「探索佛手瓜卷鬚捲曲形成的過程」這個實驗中發現卷鬚捲曲捲的方向和碰觸點的方向有關，纏繞物碰的位置即為卷鬚捲曲的方向，我們稱之為「第一階段」。但此階段為可逆，在未進入第二階段前，改變碰觸位置可改變捲曲的方向。**卷鬚能夠還原至不捲的狀態，在低溫環境中尤其明顯**，即從第一階段變為無法纏繞物體。因此佛手瓜卷鬚的向觸性方向主要是受末端碰觸點位置的影響。
- (二) 若卷鬚末端往左勾，逆向轉折區會向順時鐘轉；若末端往右勾，則反之。卷鬚形成逆向轉折區即進入卷鬚捲曲的第二階段，進入此階段卷鬚會繼續形成螺旋狀的捲曲，此為不可逆的過程。
- (三) 卷鬚纏繞物體形成螺旋捲曲後，末端細胞組織會有變形的現象，並形成膨大構造。在其他參考文獻中也提到其他具向觸性的植物卷鬚也有此種類似的構造，來協助穩固纏繞的力量。**佛手瓜卷鬚的膨大構造型態會隨纏繞物的形狀而定，因此可使卷鬚末端適應不同形狀的纏繞物。**

三、探究佛手瓜卷鬚纏繞的原理

- (一) 我們進行卷鬚溫度、酸鹼度實驗之結果與佛手瓜生長喜好環境息息相關，佛手瓜生長溫度為 5-35°C，莖蔓在超過 35°C 或低於 5°C 時，會乾掉、枯萎。本實驗亦表現相同結果。文獻指出佛手瓜較適應在 pH5.5-6.5 的土壤，我們實驗結果亦呈現卷鬚捲曲速率在酸性環境下表現較好。
- (二) 碰觸點愈接近卷鬚末端，發生卷鬚捲曲速率愈快。在「了解似彈簧構造分布的情況」的實驗中，亦發現卷鬚末端的似彈簧構造細長、含量豐富且螺旋直徑小。此結果顯示似彈簧構造與卷鬚的第一階段捲曲息息相關。
- (三) 實驗過程中我們發現佛手瓜卷鬚的成熟度會影響卷鬚的捲曲，未成熟的卷鬚是無法形成捲曲。若卷鬚的末端無固定物刺激，有可能會形成亂捲。假設卷鬚第一階段的向觸性為生長激素所造成的，則會改變卷鬚內部細胞的塑性，如果塑性已改又如何短時間內還原至最初的狀態，這是我們第一個疑問。第二個疑問是卷鬚第一階段

的捲曲不受重力、照光的影響，純粹只受到卷鬚成熟度、溫度、酸鹼度及碰觸物的影響，讓我們因此我們推論**卷鬚第一階段所具的向觸性與似彈簧構造存在有密切的關係**。

(四) 植物生長激素影響卷鬚捲曲的實驗中，我們發現生長激素的濃度並不會影響卷鬚第一階段的向觸性，但愈高濃度的生長激素卻會促進第二階段捲度，離素則會抑制卷鬚產生螺旋。在溫度及酸鹼度實驗，此二因子亦會影響卷鬚捲曲的第二階段，因此我們認為**卷鬚捲曲的第二階段同時受生長激素與似彈簧構造的控制**。

(五) 文獻指出植物生長激素，會促進形成層細胞分裂，亦會使細胞延長導致生長。在「生長激素」的實驗中我們發現玉米芽鞘彎曲方向與已捲卷鬚捲曲方向相同。而未捲卷鬚則無法使玉米芽鞘彎曲，但在「生長激素何時產生」實驗中證明生長激素存於卷鬚末端，因此我們推測**生長激素會影響卷鬚第二階段螺旋的形成**。

四、其他植物是否有似彈簧構造的存在

實驗結果顯示除葫蘆科瓜類卷鬚植物具有含量相當豐富的似彈簧構造，其他攀附性植物雖亦大多具似彈簧構造，但含量少，且形態不同，向觸性也不似卷鬚那麼明顯。

五、似彈簧構造與植物水分運輸之關係

我們認為似彈簧構造與植物木質部裡的環紋導管、螺紋導管外形非常相似，但我們發現有以下幾點不同處：

- (一) 參考文獻指出木質部中用來增厚導管的物質為纖維素及木質素，但我們使用蛋白質測試劑，似彈簧構造明顯變色，且只有此處發生明顯變化，表示其為蛋白質成分。似彈簧構造與植物木質部裡的環紋導管、螺紋導管兩者主要的組成成份不同。
- (二) 紅墨水實驗中，我們發現運輸水份另有其他通道，似彈簧構造內部未呈紅色，即似彈簧構造並非為運輸水份的構造。
- (三) 由顯微鏡的觀察，似彈簧構造可利用細針從組織挑出，且為細絲螺旋狀非為管狀。
- (四) 導管不會有相互纏繞的現象，但似彈簧構造卻有相互纏繞的現象。

六、我們認為似彈簧構造是影響卷鬚捲曲的第一階段的主要理由如下：

- (一) 形成速率快：文獻指出 IAA 運移最重要的一個特性是 IAA 運移很慢，約每小時 0.5-1.5 cm。因此利用 IAA 進行燕麥芽鞘彎曲實驗亦需 90 分鐘才有明顯彎曲的現象產生。而本實驗卷鬚只需不到 3 分鐘末端即可形成第一階段的捲曲。
- (二) 具可逆反應：IAA 最主要之生理作用是促進細胞生長。它所促進之細胞生長，係由於其促進細胞壁塑性之增加。而卷鬚第一階段的捲曲是可逆的，第一種情況為當溫度變化(低溫)，卷鬚捲曲可由捲恢復至不捲；第二種情況為碰觸位置改變時，卷鬚可改變捲的方向，兩種情況皆可在短時間完成，因此我們認為向觸性的機制應與一般植物向性不同。
- (三) 受溫度及酸鹼度影響：向光性反應通常表現在芽鞘、生長中之莖、葉與根。卷鬚的向觸性不受光照影響。卷鬚第一階段捲曲的速率及結果受到溫度及酸鹼度的影響，尤其是溫度部分，在高低溫中卷鬚捲曲速度差異非常大，經檢測似彈簧構造又為蛋白質成份，所以卷鬚第一階段的向觸性受似彈簧構造的控制。

(四) 含量豐富：不是所有植物的莖部皆有我們看到的似彈簧構造，其中只有其卷鬚具向觸性的苦瓜及絲瓜含量非常豐富(又密又細)，其他攀附性植物具少量且螺旋直徑大的似彈簧構造，向觸性反應亦不如卷鬚迅速。

(五) 成熟度：一般植物的向性表現不會受到組織成熟度的影響，但實驗結果發現卷鬚不夠成熟就無法產生捲曲。

(六) 縱切下的卷鬚末端依然可以彎曲。

卷鬚第一階段捲曲過程中不受生長激素的刺激及離素的抑制，但會受到溫度及酸鹼度的影響。我們推測卷鬚的向觸性應是受到似彈簧構造存在所造成的。

因此我們認為造成佛手瓜卷鬚第一階段捲曲的原因是似彈簧構造受碰觸點影響，產生彼此纏繞現象，而勾住碰觸物，如下圖所示：



【似彈簧構造受碰觸點刺激後變化示意圖】

七、我們認為生長激素與似彈簧構造同時影響卷鬚捲曲的第二階段的主要理由如下：

植物生長激素影響卷鬚捲曲的實驗中，愈高濃度(100ppm)的生長激素會影響卷鬚第二階段的螺旋捲曲。在溫度及酸鹼度實驗，此二實驗因子亦會影響卷鬚第二階段的捲曲，因此我們認為卷鬚捲曲的第二階段同時受生長激素與似彈簧構造的控制。實驗過程中我們也發現卷鬚捲曲不受重力影響(卷鬚捲曲是螺旋式的，且捲曲方向可垂直可水平)，因此利用生長激素因重力影響其分佈來解釋捲曲過程，似乎無法解釋我們觀察到的現象，卷鬚捲曲應是有其他方式作用影響。

柒、結論

一、佛手瓜卷鬚的構造

佛手瓜的卷鬚衍生自葉，屬於葉卷鬚。卷鬚捲曲時產生的逆向轉折區為形成時所必須，而非增加穩定性。卷鬚在捲曲完成時，末端有組織增厚之現象，會形成膨大構造，增加堅固之攀附力，且可適應纏繞物形狀以增加纏繞力。

二、佛手瓜卷鬚的向觸性

「向觸性」是植物末端在碰觸到物體後，發生纏繞物體的現象。在葫蘆科三種瓜類的卷鬚，其向觸性的表現除纏繞物體外，還具有形成螺旋的過程。這兩個階段分別受到不同因子的影響。

(一)第一階段：為卷鬚末端纏繞物體

此階段會受到溫度及酸鹼度影響，但不會受到生長激素的促進及離素的抑制，且在卷鬚末端似彈簧構造含量豐富，因此卷鬚向觸性的第一階段是受到似彈簧構造的影響。

(二)第二階段：卷鬚形成螺旋捲曲的過程

當第一階段進行時，卷鬚末端會同時產生生長激素，促進螺旋產生，因此第二階段會受到生長激素的促進及離素的抑制。而溫度及酸鹼度亦會影響此階段，組織切片中似彈簧構造是整條皆有分佈，所以生長激素及似彈簧構造應是同時影響此階段的因子。

捌、未來展望

進行本研究時，很多的實驗結果都與我們當初的想法有所出入，因此幾乎每個實驗我們都一再重複確認，但也讓我們發現佛手瓜的卷鬚許多有趣的現象，讓我們不禁讚嘆大自然的奧妙。實驗中我們發現不同植物組織中似彈簧構造具不同的型態，未來可探討是否可以利用此一特徵作為比較攀附性植物演化親緣關係遠近之依據。並且未來我們想進一步直接觀察卷鬚似彈簧構造在形成捲曲時發生的變化，以確定我們的推論。

玖、誌謝

首先感謝南屏國小附近菜圃園的林清連先生提供數千條實驗卷鬚。我們也感謝宜蘭大學陳博彥博士的批評與指教，高建元博士植物生長激素之提供。沒有他們的協助我們是無法完成此次的實驗。

拾、參考文獻

- 國中自然與生活科技課本。七年級第一冊。南一書局出版。
- 高中生命科學(上)。台北縣：龍騰文化事業股份有限公司。
- 高景輝(民 68)。植物生長與分化。臺北市：茂昌圖書有限公司。
- 戴志遠(民 72)。植物的葉。台北市：幼獅文化事業公司。
- 戴志遠(民 72)。植物的莖。台北市：幼獅文化事業公司。
- 蔡淑華(民 77)。植物解剖學。台北市：國立編譯館。
- 王月雲、陳是瑩、童武夫(民 87)。植物生理學實驗。臺北市：藝軒圖書出版社。
- 自然科學圖解百科-生命科學植物的世界(一)(民 95)。汎亞國際文化科技股份有限公司。
- 李宗穎、康鈺泮、康哲偉、楊宏農。中華民國第四十三屆中小學科學展覽會參展作品-生物科高中組百香果卷鬚向觸性之探討。
- 楊勝文、江重威。中華民國第四十四屆中小學科學展覽會參展作品-生物科高中組生命的曲線。

【評 語】 031701 無所不捲

試驗研究頗豐富創意，但宜合理化，善於觀察，但對於結果之解釋亦需合理。偏重於室內試驗，應注意自然狀況。