

2009 年臺灣國際科學展覽會

優勝作品專輯

編號： 060003

作品名稱

無所不捲

得獎獎項

植物學科大會獎第二名

候補作品

學校名稱： 國立宜蘭高級中學 臺北市立第一女子高級中學

作者姓名： 林巧文 張容禎

指導老師： 陳 卉 蘇敬菱

關 鍵 字： 向觸性、生長激素、卷鬚

Thigmotropism、Tendrils、Auxin

作者簡介



我是林巧文，目前就讀宜蘭高中資優班一年級，從小就對生物研究有著非常濃厚的興趣，常常為了深入探索生物現象，而卯足全力花盡心血研究。因此在辛苦實驗之後，最開心的就是能將一次次挫折中所獲得的成果，與他人分享。在國中階段獲選為亞太青少年領導營台灣區代表，至新加坡與世界其它國家的學生交流，這個活動打開我人生另一扇窗，也讓我擁有一個不一樣的世界觀。

我是就讀北一女中一年級的張容禎，我對很多未知的事物都抱持著好奇心，因此我喜歡打破傳統及實驗設備的限制，自己動手完成實驗裝置。國中三年級是許多人為課業打拼的階段，在課業忙碌之於，仍無法澆熄我對創造發明的熱情，因此代表臺灣至印尼參加青少年世界發明展並獲得金牌，也讓我體認到人要走出去，才能看到不一樣的世界。

Relationship among Spring-like Structure, Auxin and Thigmotropism of Chayote (*Sechium edule*)

Abstract

Thigmotropism is a very important character of tendrils of chayote (*Sechium edule*). A lot of researchers considered that auxin can affect thigmotropism. Our aims were not only to find the relationship between thigmotropism of chayote and auxin, especially IAA, but also to identify a spring-like structure we found in the tendrils of chayote.

The whole process of thigmotropism of chayote was divided into two stages. The first stage related to the process of curving of the tip of a tendril and coiling around an object that contacted with the tip of the tendril, and the second one related to the process of formation of a helix on the whole part of the tendril and increasing the number of collenchyma cells to firm the helix structure.

For supporting our theory, we picked some tendrils on the farm and did several experiments. By adding IAA and ABA to tendrils, we found that they (i.e. IAA and ABA) rarely affected the first stage of thigmotropism; on the other hand, there was a visible difference by adding IAA to tendrils in second stage, the degree of helix is higher than other sets, however, ABA will inhibit this phenomenon. Through corn coleoptile test, we demonstrated that spiral tendrils contained more auxin than un-spiral tendrils.

We emphasized our result by making some slides and surprisingly discovered that the amount of the spring-like structure was abundant in the tip of a tendril which was known to be the most sensitive part in showing thigmotropism in the whole tendril. After using a dye, we have found that the spring-like structure contained protein. Also, we made some slides of other plants which also showed thigmotropism, some on both stages and some only on the first stage. And we discovered that the amount of the spring-like structure was related to the sensibility of thigmotropism. In the experiment of isolating spring-like structure, only tendrils which could curve contained these structures.

Via these experiments and observations, we conclude that the spring-like structure was closely related to both stages of thigmotropism, while auxin influenced only the second stage.

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，第二階段佛手瓜以 360 度的旋轉方式產生數圈螺旋狀捲曲後，並在卷鬚末端及螺旋狀捲曲的內側，增加固定的構造。本研究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。利用玉米芽鞘亦證明已捲卷鬚比未捲卷鬚含更多生長激素。由卷鬚的組織切片中，我們觀察到內含豐富的似彈簧構造，在卷鬚捲曲過程中，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含有蛋白質的成份，將卷鬚依其似彈簧構造分布狀況進行切割，卷鬚亦會朝著具有似彈簧構造的方向彎曲，而不含此構造的卷鬚則不會彎曲，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。

無所不捲

壹、前言

向性(tropism)的定義為植物器官受到外界環境刺激後所產生之反應(高, 1979)。向觸性是一種因接觸或碰觸的刺激而引起的向性生長運動。Darwin(1881)認為向觸性是普遍存在植物的一種現象。當他研究植物根的生長時，發現利用機械刺激豆科植物的根，根的生長會些微改變方向，展現出向觸性的特徵。這似乎是一種正向適應，有利於當植物的根遭遇到固體阻礙物，可以繞著阻礙物生長(Wilson, 1967)。有一系列的報告指出，單一方向摩擦 *Avena sativa*, *Ranunculus arvensis*, *Brassica oleracea* and *Panicum sp.* 這些植物種子的幼芽，幼芽會朝向摩擦方向彎曲(Stark, 1916, 1917, 1919, 1922, 1927)。Schrank(1944)證實單側機械擾動(mechanically perturbation)，可造成植物的向觸性；Huberman and Jaffe(1986)又更進一步利用豌豆的卷鬚進行單側機械擾動時，而豌豆亦朝向該側彎曲。

細胞壁受到外力時，細胞壁之機械特性(mechanic properties)可允許限量之延長(Cleland, 1971)。細胞壁如欲繼續延長，則細胞壁必須經過生化之修飾(biochemical modification)，以恢復細胞壁延長之物理性。此種生化之修飾，也就是使細胞壁鬆軟(wall loosening) (高, 1979)。生長激素最主要之生理作用是促進細胞生長。它之所以促進細胞生長，係由於增加細胞壁塑性(高, 1979)。一般認為植物卷鬚接觸到支柱物時，被碰觸的細胞產生生長激素，並運送至未接觸的細胞，未接觸的一邊(外側)生長速度較快，於是卷鬚末端便向支柱捲曲生長而攀附其上，因此向觸性的產生與生長激素分佈不均有關。但 Takahashi and Jaffe(1990)利用黃瓜(*Cucumis sativus*)的胚軸(hypocotyls)進行向觸性的實驗。胚軸向地及向光的彎曲會受到機械擾動的抑制。當同時使用機械擾動與 IAA 刺激胚軸的同一側，胚軸會朝向機械擾動的刺激方向彎曲，因此外加的 IAA 不能控制彎曲的方向。

本研究材料為佛手瓜(*Sechium edule*)，它利用卷鬚攀附在物體上生長且捲曲的形式十分特別，不僅在末端會纏繞物體，且卷鬚其他部位會形成螺旋的結構。有些研究是認為卷鬚的向觸性與細胞膨壓有關，外側的細胞因膨壓加大而伸長乃造成卷鬚呈螺旋狀彎曲。Yan(1963)發現在高等植物中存在類似骨骼肌的收縮蛋白，並證明該蛋白即肌動蛋白，Jaffe 和 Galston(1967)以同樣方法證明豌豆卷鬚中存在具收縮性的 ATP 酶。Lou(1996)提出卷鬚的快速向觸性運動是靠動作電位傳遞引起下段組織原生質體收縮來完成的。因此植物傳遞向觸訊號至另一部位與動作電位(action potential)有關，植物荷爾蒙也許亦參與其中(Jaffe et al. 2002)。

雖然相關的研究指出卷鬚的向觸性與生長激素、肌動蛋白和動作電位有關，但是到底是什麼原因讓它形成兩階段的向觸性，而這些因素又是如何影響這兩階段的進行？在研究的過程中我們亦在卷鬚中發現一種似彈簧構造，我們希望探討出卷鬚內部特殊結構、生長激素、蛋白質與向觸性之間的關係。

貳、研究材料及方法

一、材料

本實驗是以佛手瓜(*Sechium edule*)作為研究對象，在學校附近的菜園採回的佛手瓜卷鬚，將其放置於冰桶帶回實驗室進行實驗。

二、卷鬚的形成過程及內部構造

1. 佛手瓜卷鬚的形成及內部構造

(1)利用電腦軟體設定相機，每隔 15 分鐘拍照一次，並連續拍照 24 小時，觀察卷鬚捲曲整個過程。

(2)實地觀察佛手瓜卷鬚的生長位置。採回佛手瓜莖、葉柄及卷鬚，卷鬚包含未成熟卷鬚、已成熟卷鬚及已捲卷鬚(如圖 1 所)，徒手切片後用複式顯微鏡觀察。



圖 1 (A)佛手瓜未成熟卷鬚(B)佛手瓜已成熟卷鬚(C)佛手瓜已捲卷鬚

三、生長激素對卷鬚向觸性之影響

1. 生長激素實驗

取數條卷鬚，用昆蟲針將卷鬚固定於塑膠盤上。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，用筷子碰觸卷鬚末端，將結果紀錄並拍照。

2. 玉米芽鞘實驗

將玉米栽種於暗室之中，待其發芽將其芽點剪掉。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(如圖 2 所示)。

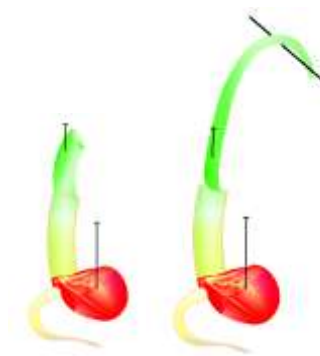


圖 2 玉米芽鞘實驗示意圖

3. 末端是否含有生長激素

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。將結果紀錄並拍照。

4. 生長激素何時產生

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。將結果紀錄並拍照。

四、探討似彈簧構造的組成及功能

1. 似彈簧構造的組成

(1)溫度與酸鹼是否影響卷鬚向觸性

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：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。分別置於 4°C、20°C、30°C、40°C，並將結果紀錄並拍照。我們也做了酸鹼值的實驗。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。取數條卷鬚固定後，上方放置 HCl 溶液、NaOH 溶液、純水，將結果紀錄並拍照。

(2)組成之蛋白質測定

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，為了證明我們做了以下的實驗：使用 Biuret 法(王

等,1993)利用肽鍵物質在鹼性溶液中與硫酸銅作用。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。

2. 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，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(蔡,民 77)，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。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。

3. 分離似彈簧構造

我們將卷鬚橫切面分成 A、B、C (如圖 3 所示)三個部分經過觀察，發現似彈簧構造主要分布在 A、C，我們將這三個部分切成小塊泡在水裡後，加入溫水後，肉眼觀察其變化。

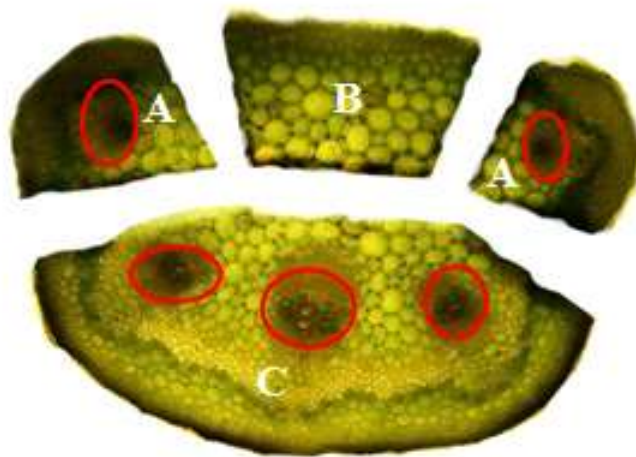


圖 3 似彈簧構造在卷鬚中分布情況，紅色圈圈處為似彈簧構造分布位置

4. 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(戴,民 72)。從田園中摘取同為葫蘆科的絲瓜(*Luffa cylindrica*)與苦瓜的卷鬚(*Momordica charantia*)，再另採以下植物莖的末端：旋花科的地瓜(*Ipomoea batatas*)及蘿藦科的絨蘭(*Hoya carnosa*)，徒手切片並利用 Biuret 法，觀察是否具似彈簧構造。

參、研究結果與討論

一、卷鬚的形成過程及內部構造

1. 在物體碰觸卷鬚後五分鐘內，末端會勾起並纏繞物體一到三圈，在十二小時內，卷鬚的中段便會拱起一區域，稱之為「逆向轉折區」，此一逆向轉折區會 360 度旋轉，在二十四小時內便會形成至少兩段的反向螺旋。

我們將卷鬚的向觸性分為兩階段，第一階段為末端勾起並纏繞物體，第二階段形成逆向轉折區及螺旋。我們觀察到卷鬚捲曲的第一階段為可逆，在未進入第二階段前，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。進入卷鬚捲曲的第二階段，卷鬚會繼續形成螺旋狀的捲曲，此為不可逆的過程。

此外，我們也發現到了螺旋的內側外側有一定的規則(如圖 4 所示)，A 側為螺旋外側，B 為螺旋內側。

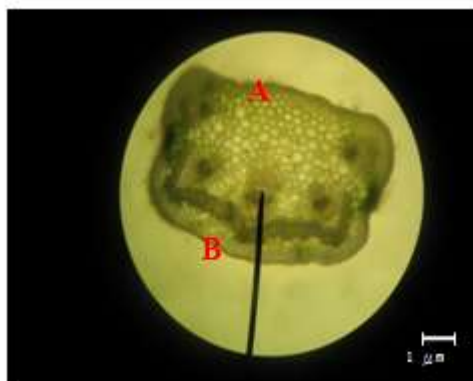


圖 4 卷鬚橫切面

為了數量化實驗結果，我們的名詞定義如下：

(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愈高。

2. 確認卷鬚為莖卷鬚或葉卷鬚，主要視維管束排列的形態。葉柄具奇數的維管束，排列成開口的環狀。最大的維管束排在下方中央；左右兩方自下而上，維管束逐漸減小。在葉柄的表皮下層或是有稜角的地方，常有厚角組織，作為支持的結構(李,1983)。因此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(如圖 5 所示)。

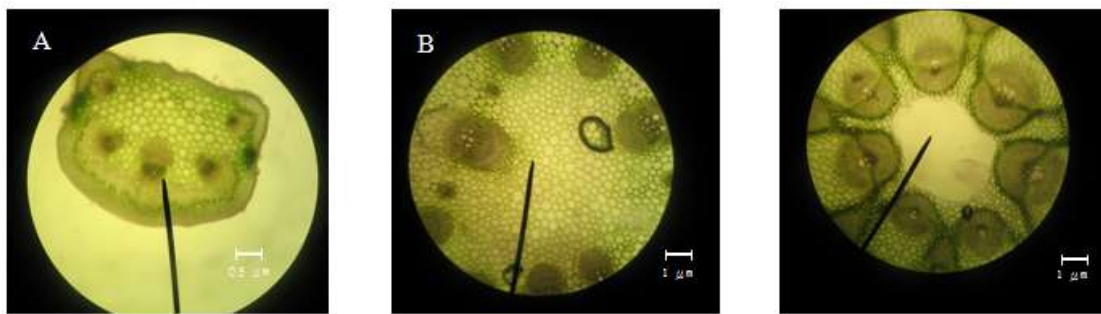


圖 5 (A)【卷鬚的橫切面】維管束呈 C 字形排列，中央無髓腔
 (B)【葉柄的橫切面維管束不呈完整環狀排列，中央無髓腔
 (C)【莖的橫切面】維管束排列成環狀，中央有髓腔

似彈簧構造一直存在於佛手瓜卷鬚中(如圖 6 所示)，卷鬚、葉柄、莖之組織切片中均發現有似彈簧構造。此外，我們發現到在已捲卷鬚和未捲卷鬚的切片中，厚角組織有逐漸增厚的現象 (如圖 6 所示 A 和 C 圖，紅色圈圈處)。

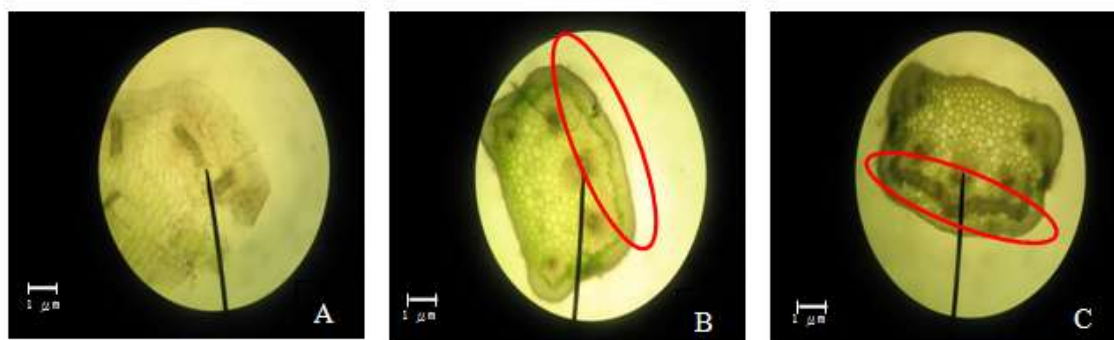


圖 6 (A)【未成熟卷鬚】(B)【已成熟卷鬚】(C)【已成熟已捲卷鬚】

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，似彈簧構造不僅愈豐富且愈細長(如圖 7 所示)，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，似彈簧構造結構發生改變，較不易因切割外露出來。



圖 7 【卷鬚末端的似彈簧構造分佈】

二、生長激素對卷鬚向觸性之影響

1. 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 $3\text{ cm} > 1/4 > 1/3 > 1/2$ ，佛手瓜卷鬚碰觸卷鬚愈末端，卷鬚捲曲速率愈快。

碰觸點愈接近卷鬚末端，發生卷鬚捲曲速率愈快。在「佛手瓜卷鬚的形成及內部構造」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。

2. 生長激素是否會影響卷鬚捲曲的形成

由圖 8.A 所示可知各組捲率並無明顯差異。

由圖 8.B 所示可知，IAA 10ppm 和 IAA 100ppm 影響最大，第 4 天和對照組分別差距 2、0.9。其次為 IAA 0.01ppm，和對照組差距 0.5。

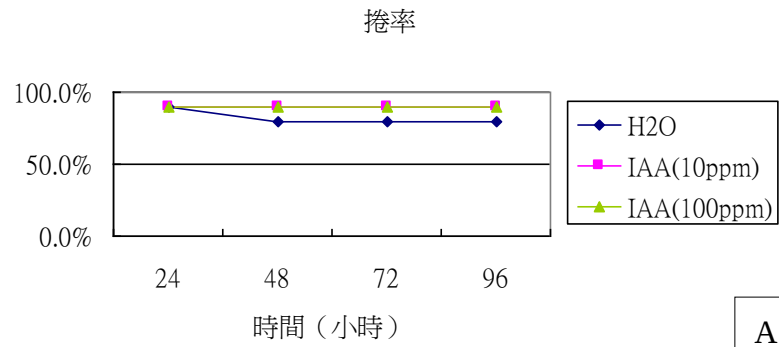


圖 8.A

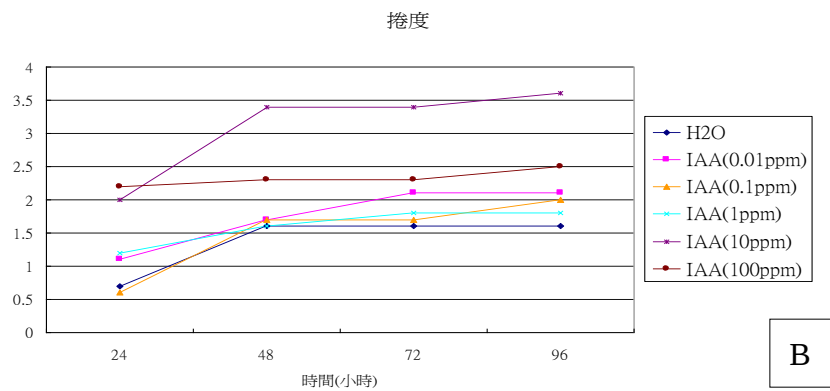


圖 8.B

由圖 8.C 所示可知，各組捲率並無明顯的影響。

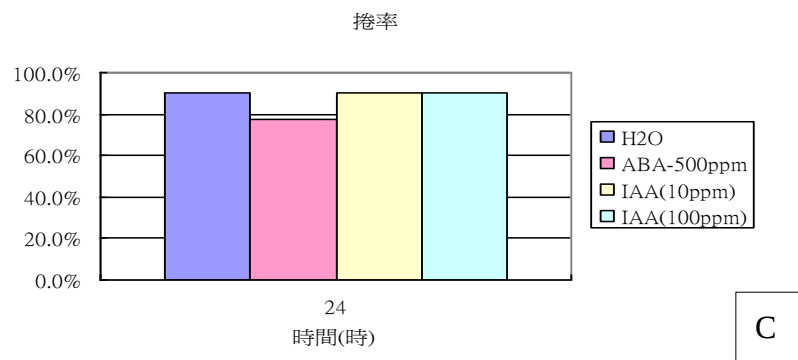


圖 8.C

由圖 8.D 可知，IAA 100ppm 之捲度最高，和對照組差距 1.5，其次為 IAA 10ppm，和對照組差距 1.3，ABA 500ppm 這組皆未產生螺旋捲曲。

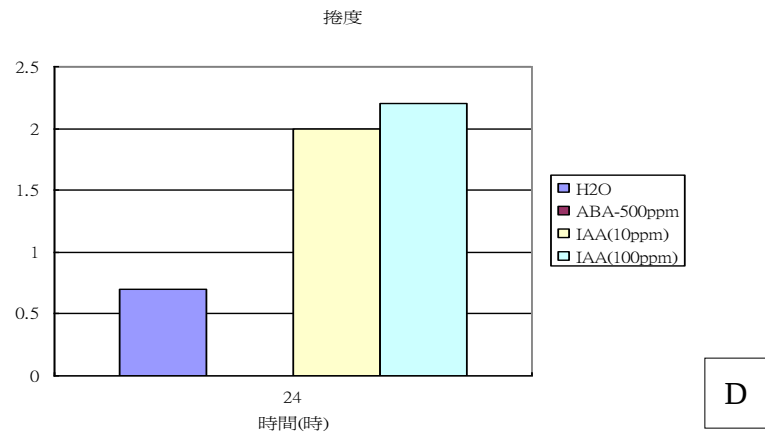


圖 8.D

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

3. 玉米芽鞘實驗-

如圖 9 所示可知，對照組與未捲角度皆為 0。只有已捲卷鬚會對玉米芽鞘造成彎曲。

已捲卷鬚對玉米芽鞘彎曲的影響大於未捲卷鬚。

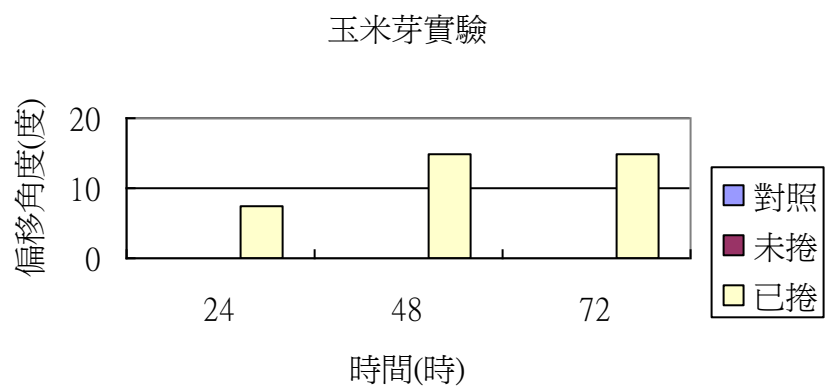


圖 9

4. 末端是否含有生長激素

由圖 10.A 所示可知，切未捲末端和切未捲末端+IAA 兩組差別並無明顯差異。

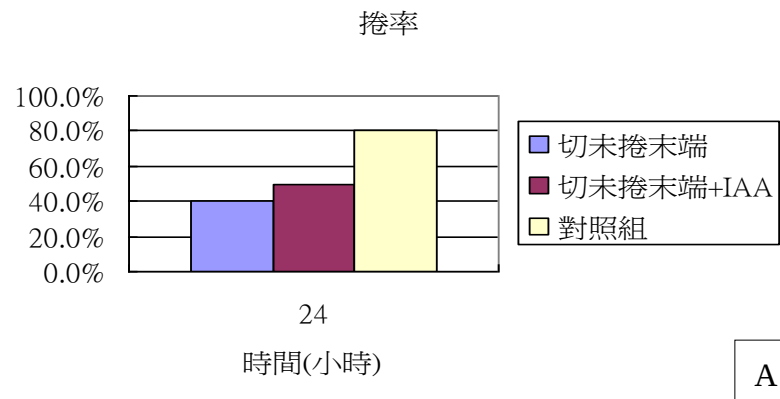


圖 10.A

由圖 10.B 所示可知，加生長激素組之捲度為 1.2，不加組捲度為 0。

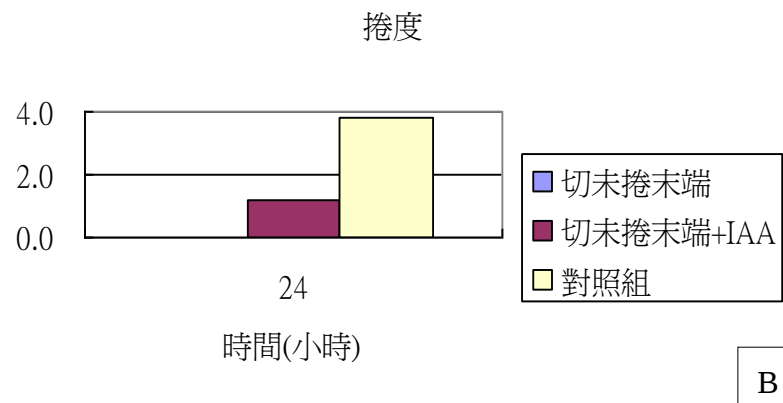


圖 10.B

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。

5. 生長激素何時產生

由圖 11.A 所示圖可知，對照組之捲率為 80%，另外兩組皆為 30%。

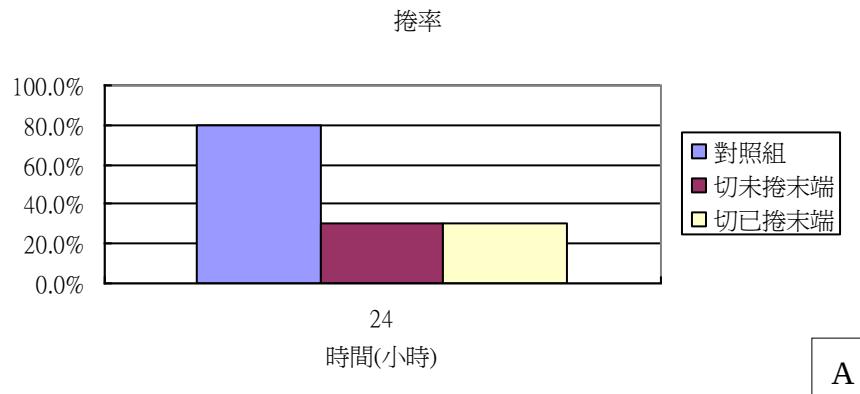


圖 11.A

由圖 11.B 所示可知，對照組捲度為 3.8 和已捲組相差 3.1，未捲組為 0。

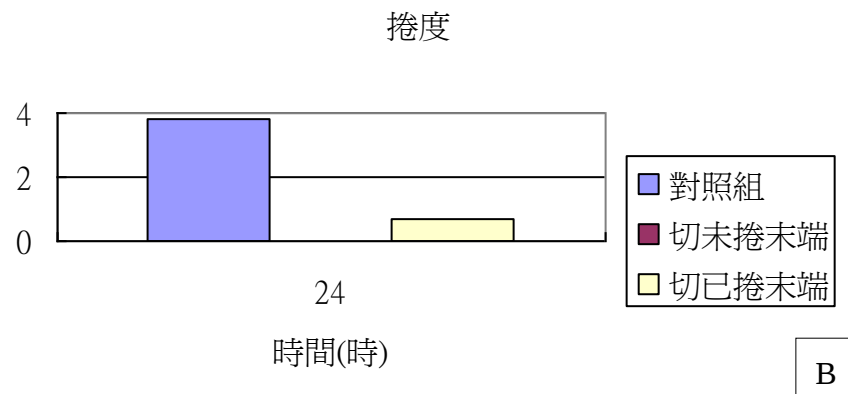


圖 11.B

此實驗結果我們可知生長激素在卷鬚纏繞後為末端所形成。

6. 討論

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。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，但我們觀察到第一階段具有可逆性，如果塑性已改又如何在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。第三個疑問是跟據文獻，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。因此我們推論卷鬚第一階段所具的向觸性與生長激素並沒有存在有密切的關係。

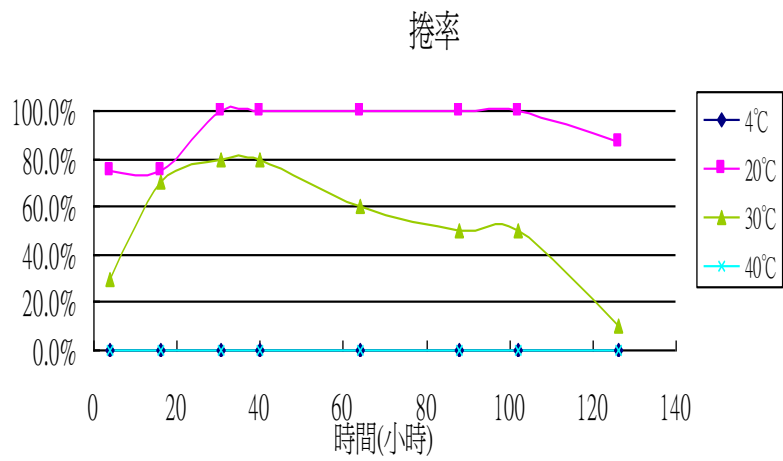
文獻指出植物生長激素，會促進形成層細胞分裂，亦會使細胞延長導致生長。在「生長激素」的實驗中我們發現玉米芽鞘彎曲方向與已捲卷鬚捲曲方向相同。而未捲卷鬚則無法使玉米芽鞘彎曲，但在「生長激素何時產生」和「末端是否含有生長激素」實驗中證明生長激素在末端纏繞後才出現於卷鬚末端，因此我們推測生長激素為卷鬚形成螺旋結構的影響因子之一。

三、探討似彈簧構造的組成及功能

1. 似彈簧構造的組成

(1) 溫度與酸鹼是否影響卷鬚向觸性

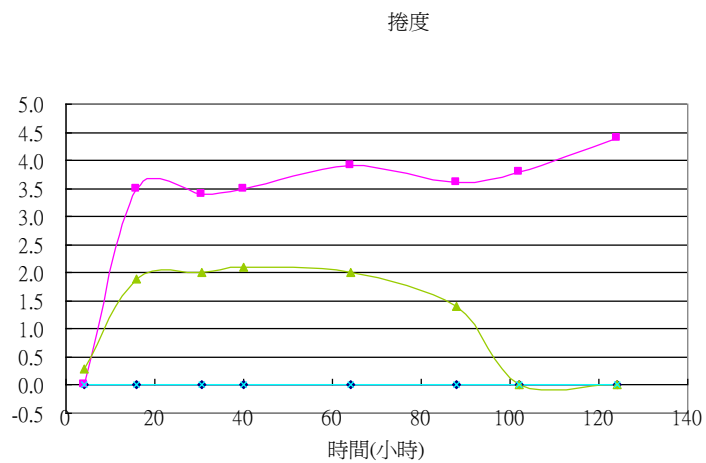
由圖 12.A 所示可知，40°C 與 4°C 捲率均為 0，而 20°C 之捲率較 30°C 高。由於實驗時間過長，各組均在 102 小時後乾枯掉；而 30°C 實驗因溫度較高，在 64 小時後捲率開始下降。〔註：在 40°C 的卷鬚一開始便乾枯了〕



A

圖 12.A

由圖 12.B 所示可知，捲度仍以 20°C 最佳。而 30°C 實驗因溫度較，在 64 小時後便開始乾枯了，所以捲度開始下降。



B

圖 12.B

由圖 12.C 所示可知酸性在 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。

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。

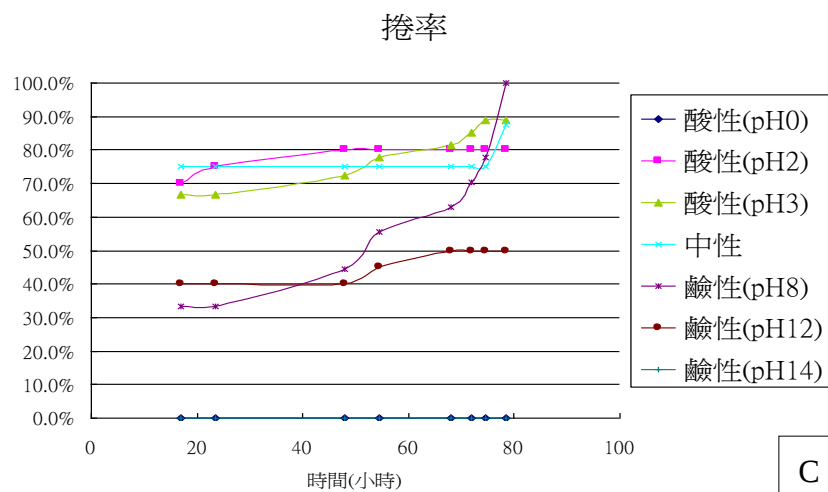


圖 12.C

由圖 12.D 所示可知，pH3 捲度最高，其次為 pH7。而 pH14 和 pH0 捲度為 0。

整體而言，弱酸性與中性的捲率較好。

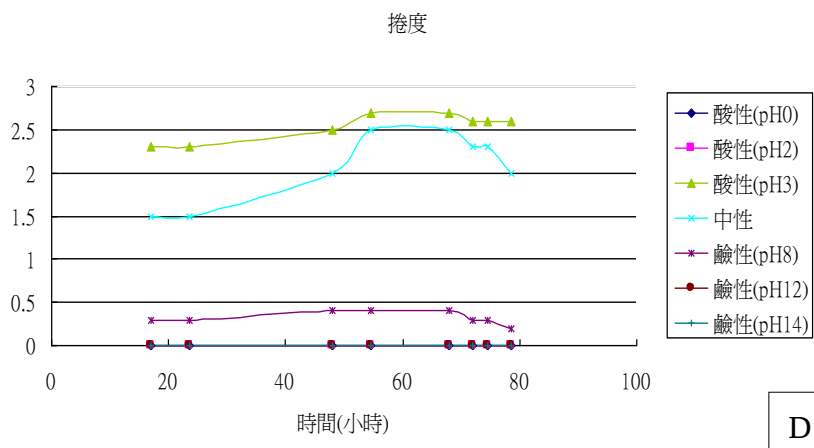


圖 12.D

我們發現到卷鬚之向觸性會受到溫度和酸鹼值所影響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℃，莖蔓在超過 35℃ 或低於 5℃ 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。

(2) 似彈簧構造的組成成份

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(如圖 13 所示)。

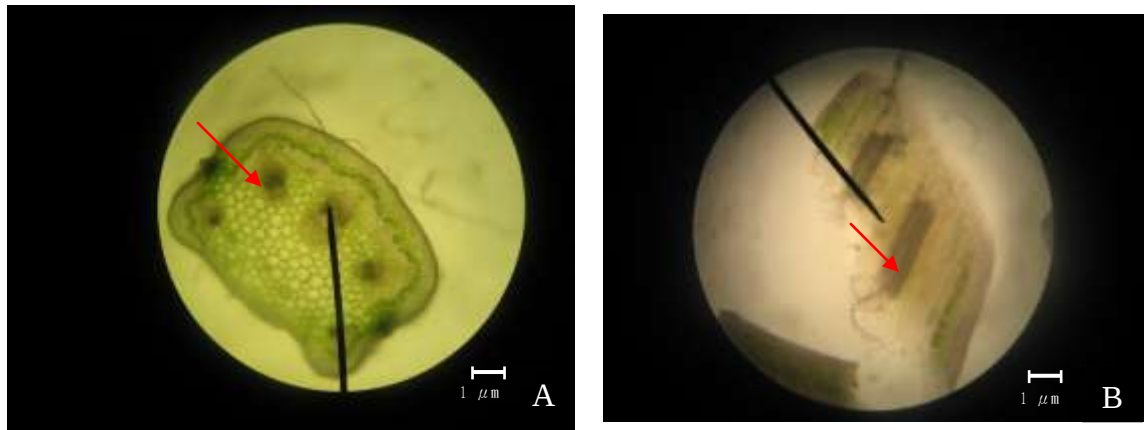


圖 13 (A)卷鬚滴入檢測蛋白質試劑後(橫切面)
(B)卷鬚滴入檢測蛋白質試劑後(縱切面)

2. 似彈簧構造與植物水分運輸之關係

由圖 14 所示可知，運輸水分的路徑和似彈簧構造不同，證明似彈簧構造不具有運輸水分的功能。

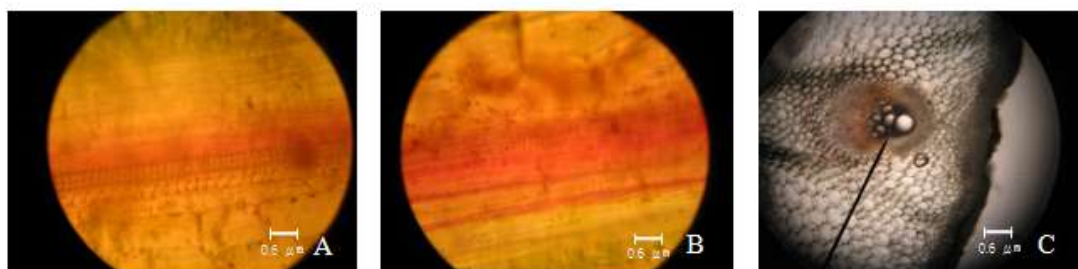


圖 14 (A)(B)卷鬚吸紅墨水的縱切面 (C)卷鬚吸紅墨水的橫切面

3. 分離似彈簧構造

由圖 15 所示 A 和 C 含有似彈簧構造，所以加入溫水後，似彈簧構造收縮後，會往較靠近似彈簧構造分布的一側彎曲。由於分布在 A 的似彈簧構造的量較在 C 的量少，所以捲曲的幅度以 C 最為明顯。此實驗證明似彈簧構造具有收縮的功能。

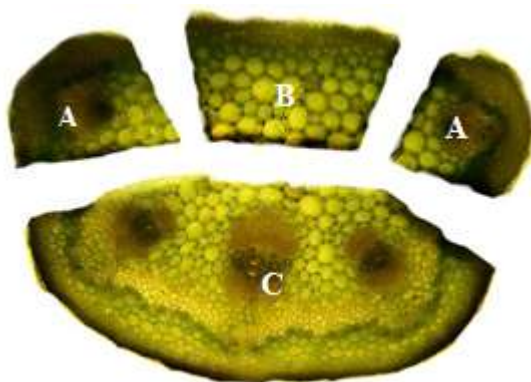


圖 15 我們發現 A、C 都朝非切口側彎曲，而 A 彎曲的幅度小於 C。B 則不彎曲。

4. 其他植物是否有似彈簧構造的存在

組織切片葫蘆科的絲瓜 (圖 16.A 所示) 與苦瓜 (圖 16.B 所示) 的卷鬚，旋花科的地瓜 (圖 16.D 所示)、和蘿藦科的毬蘭莖的末端(圖 16.C 所示)，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，而其他植物並未發現似彈簧構造。實驗結果顯示除葫蘆科瓜類植物的卷鬚中，具有含量相當豐富的似彈簧構造外，其他攀附性植物則無似彈簧構造的存在，向觸性也不似卷鬚可產生快速的捲曲及螺旋的構造。

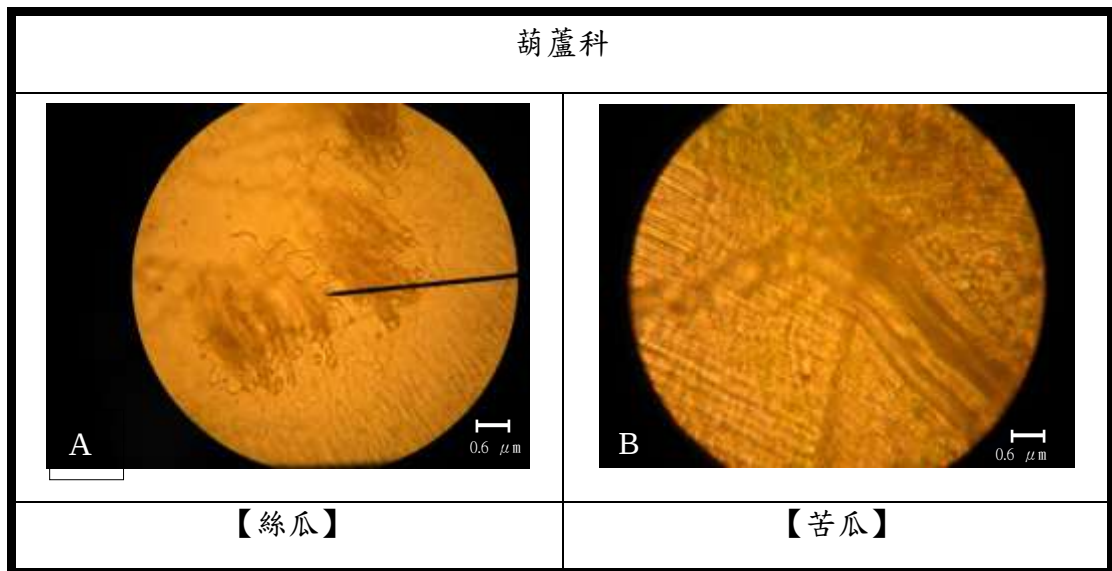


圖 16.A

圖 16.B

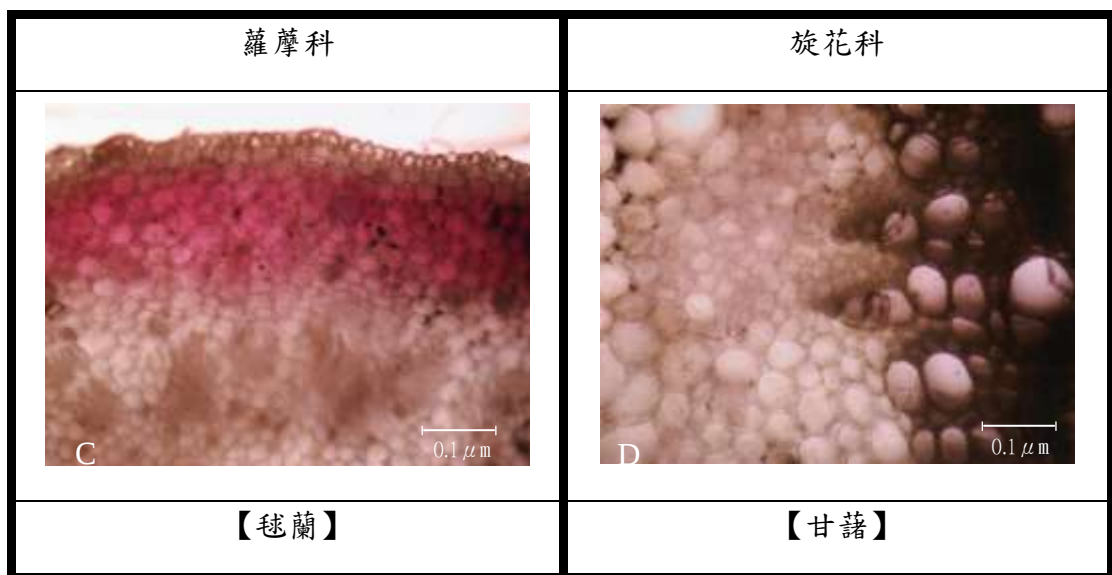


圖 16.C

圖 16.D

5. 討論

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收縮，而勾住碰觸物。

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：

(a)受溫度及酸鹼度影響：向光性反應通常表現在芽鞘、生長中之莖與葉。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含有蛋白質成份。

(b)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)，其他攀附性植物如絨蘭和苦瓜，並沒有發現到似彈簧構造，其向觸性反應亦不如卷鬚迅速。

(c)經縱切分離的卷鬚，只有含有似彈簧構造的部分會表現彎曲的現象。且彎曲程度與似彈簧構造分佈的多寡呈正相關。

但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。我們認為生長激素、似彈簧構造和厚角組織同時影響卷鬚捲曲的第二階段的主要理由如下：

在進入第二階段時，卷鬚近中央的位置會拱起，代表卷鬚內部具有可收縮的構造，引發此一反應，在進行分離似彈簧構造實驗，卷鬚唯含而似彈簧構造者才可彎曲，而似彈簧構造又為整束存在卷鬚內部，因此似彈簧構造為影響第二階段不可缺少的因子之一。在「生長激素是否會影響卷鬚捲曲的形成」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，而愈高濃度(100ppm)的生長激素卻會影響卷鬚第二階段螺旋捲曲的速率，並造成螺旋結構不可逆的改變。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。此外，我們發現到已捲卷鬚會有厚角組織增生的現象，所以卷鬚螺旋捲曲應是同時受到生長激素、厚角組織與似彈簧構造共同影響的結果。

肆、結論與應用

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；螺旋內側部分之厚角組織亦有增厚之情形，可維持卷鬚螺旋結構之穩定及產生彈性。

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，卷鬚亦需含有此構造才可表現彎曲的特徵，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

當第一階段進行完成時，卷鬚末端會產生生長激素，促進螺旋結構產生，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分佈於整條卷鬚，逆向轉折區的形成，代表卷鬚內部具有可收縮的構造。所以生長激素及似彈簧構造應是同時影響此階段的因子。此外厚角組織的增厚也會穩定螺旋的結構。

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。在第二階段的螺旋形成中，我們希望未來能以物理的角度，來探討力的平衡以了解卷鬚的形成，在我們嘗試製作模型來了解卷鬚的形成後，我們發現要使卷鬚拱起逆向轉折區產生螺旋的力量相當大，我們認為這應該與似彈簧的結構有所關聯，也希望能以化學的角度來探討似彈簧的結構與組成，並且未來我們想進一步直接觀察卷鬚中似彈簧構造在形成捲曲時發生的變化，以更加確定我們的理論。

伍、參考文獻

Cleland R. E. (1971a) *Ann. Rev. Plant Physiol.* 22,197.

Cleland R. E. (1971b) *Plant Physiol.* 47, 805.

Darwin C. (1881) *The power of movement in plants*, Appleton, New York.

Huberman M. and Jaffe M. J. (1986) Thigmotropism in organs of the bean plant (*Phaseolus vulgaris* L.). *Annals of Botany* 57, 133-137.

Jaffe. M. J. and Galston A. W. (1967) Physiological studies on pea tendrils. III. ATPase activity and contractility associated with coiling. *Plant Physiology*. 42, 845-847.

Jaffe M. J., Leopold A. C., Staples R. C. (2002) Thigmo responses in plants and fungi. *American journal of botany*. 89(3), 375-382.

Lou. C. H. (1996) Electrochemical wave transmission in higher plants. *Acta Biophysica Sinica*. 12, 739-745.

Schrank A. R. (1944) Relation between electrical and curvature responses in the *avena coleoptole* to mechanical stimuli. *Plant Physiology* 19, 198-211.

Stark P. (1916) Experimentaelle untersuchungen uber das wesen und die verbreitung der kontaktreizbarkeit. Jahrbuch fur wissenschaftliche botanik 57, 189-320.

Stark P. (1917) Beitrage zur kenntnis des traumatotropismus. Jahrbuch fur wissenschaftliche botanik 57, 461-552.

Stark P. (1919) Ueber die gultigkeit des weberschen gesetzes bei den haptotropischen reaktionen von koleoptilen und keimstengeln. Jahrbuch fur wissenschaftliche botanik 58, 475-524.

Stark P. (1922) Weitere untersuchungen uber das resistentengesetz beim haptotropismus. Jahrbuch fur wissenschaftliche botanik 58, 475-524.

Stark P. (1927) Das reizleitungsproblem bei den pflanzen im licht neuerer erfahrungen. Ergrunden biologie 2, 1-94.

Takahashi H. and Jaffe M. J. (1990) Thigmotropism and the modulation of tropistic curvature by mechanical perturbation in cucumber hypocotyls. Physiologia Plantarum. 80, 561 – 567.

Wilson B. F. (1967) Root growth around barriers. Botanical Gazette 128, 79-82.

高景輝(民 68)。植物生長與分化。臺北市：茂昌圖書有限公司。

李學勇(民 72)。植物學要義。臺北市：國立編譯館。

戴志遠(民 72)。植物的莖。台北市：幼獅文化事業公司。

戴志遠(民 72)。植物的葉。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。

評語

持續信之研究精神值得鼓勵，如此才能解決以往之觀察問題。

或需進一步蒐集有關之資料以解決現今之問題，且進一步之試驗得進行以解決假設性之問題。