

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物科

第二名

030317

「葉」!無所不捲

學校名稱：新興學校財團法人桃園市新興高級中學附
設國中部

作者： 國二 巫芷瑄 國二 王昱晴	指導老師： 陳俐蓉
-------------------------	--------------

關鍵詞：葉捲鬚、向觸、光線

摘要

本實驗研究豌豆葉捲鬚的向觸性表現，其「纏繞」行為會受到「接觸」物體和「光源」的影響。我們觀察葉捲鬚會自發性在空中環繞，似乎在搜尋攀附物，當葉捲鬚的「前端」部位直接碰觸竿子在 60 分鐘內即「抓竿」，相較其他部位觸竿或者未直接碰觸竿子相比，快速纏繞生長。我們也發現莖條在側光源和竿子反向環境中會向光彎曲生長，導致捲鬚前端能「向觸纏繞」比例低，且纏繞圈數只有 1-2 圈。同樣在黑暗的環境中，纏繞的速度、圈數顯著降低。我們推測葉捲鬚的前端具「感應」能力，表現向觸纏繞，但光線給予「啟動」功能，當葉片被鋁箔包住無法感受光線，會導致纏繞比例顯著降低，我們期此實驗對攀附植物的向觸性學理提供基礎研究與未來在農業利用的參考！

壹、研究動機

在生物探究課程中，我們認識到植物的向性行為，其中關於攀附植物具有向觸性，包括自身纏繞的「莖捲鬚」植物和葉片特化出捲鬚的「葉捲鬚」植物。我們查閱文獻關於植物捲鬚的研究頗多，但其運轉機制目前未有定論，其中由葉變態而來的「葉捲鬚」更是陌生的，關於「葉捲鬚」的向觸行為是接受外界環境因子的刺激所產生？抑或自身具有纏繞行為？引發我們的好奇心。

「葉捲鬚」是由葉片特化而來，其捲繞行為又是否和「向光性」有關？於是我們以具有「葉捲鬚」的豌豆為實驗對象，探討豌豆的「纏繞」行為和「接觸」物體、「光源」等刺激因子的彼此相關性，尋找出植物產生捲繞行為的反應機制！

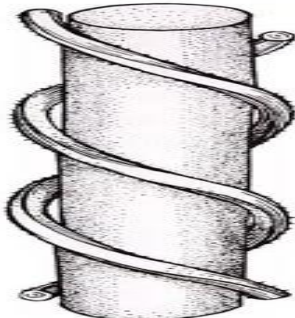
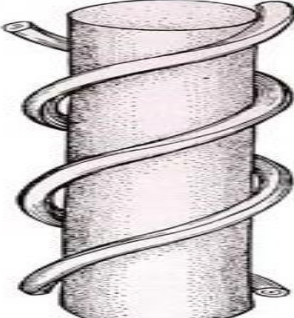
文獻資料

●「莖捲鬚」和「葉捲鬚」植物等攀附植物為了適應生長環境，經過長期自然選擇進化而成，從而彌補了這些植物自身莖杆細弱、支持力不足的弱點。

莖捲鬚 (stem tendril)	葉捲鬚 (leaf tendril)
地上的變態莖之一，為部分莖枝特化成的捲鬚狀攀援結構，常見於攀援植物如葡萄、黃瓜等。	葉捲鬚的來源不同，有的由小葉變成，如豌豆；有的由托葉變成，如菝葜；有的由葉柄特化而成，如鐵線蓮。
	

參考來源：<http://lifeofplant.blogspot.com/2011/03/nastic-movements.html>

● 莖捲鬚或葉捲鬚的纏繞方向

左旋繞(sinistrorse)	右旋繞(dextrorse)
<p>從前方觀察是右到左的螺旋</p> 	<p>從前方觀察是左到右的螺旋</p> 

參考圖片：《植物學拉丁文》

貳、研究目的

本研究目的以豌豆為研究對象，探討向觸性植物葉捲鬚存在的意義，對生存的目的為何，進一步研究豌豆葉捲鬚的纏繞機制，捲鬚的向觸性和葉片的向光性兩者是否具有關聯性。

一、觀察豌豆葉捲鬚的運動過程和探討葉捲鬚存在的目的。

二、探討豌豆葉捲鬚發生纏繞的變因。

(一)比較豌豆的葉捲鬚在有、無接觸竿子和不同距離的變因下，發生纏繞表現的差異。

(二)比較豌豆在環境中照光與否，發生葉捲鬚纏繞表現的差異。

三、探討葉片對豌豆葉捲鬚發生纏繞的影響性。

(一)研究葉片接觸竿子的效應對葉捲鬚向觸性行為的影響。

(二)研究葉片向光性的效應對葉捲鬚向觸性行為的影響。

四、探討光線對豌豆葉捲鬚發生纏繞的影響性。

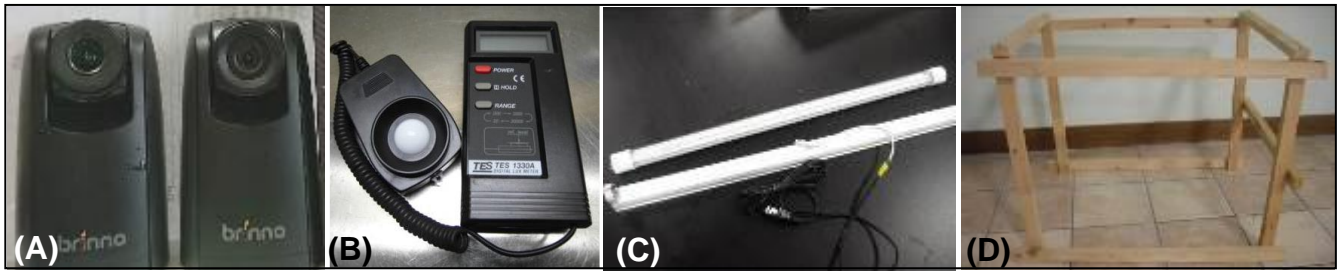
(一)比較捲鬚的遮光處理對豌豆葉捲鬚纏繞行為的改變。

(二)比較葉片的遮光處理對豌豆葉捲鬚纏繞行為的改變。

五、分析豌豆葉捲鬚的向觸性和葉片向光性之間的交互用對捲鬚纏繞的機制影響，進一步討論其在農業上利用的可能性和生態的意義。

參、研究設備與器材

一、儀器設備和器材：



圖一、實驗儀器設備 (A)縮時攝影機(Brinno TLC200,Pro.)；(B)照度計(TES 泰仕)；(C) LED 專用空抬和白光 LED 燈管(億光)；(D)自製木架作為「觀察實驗屋」。

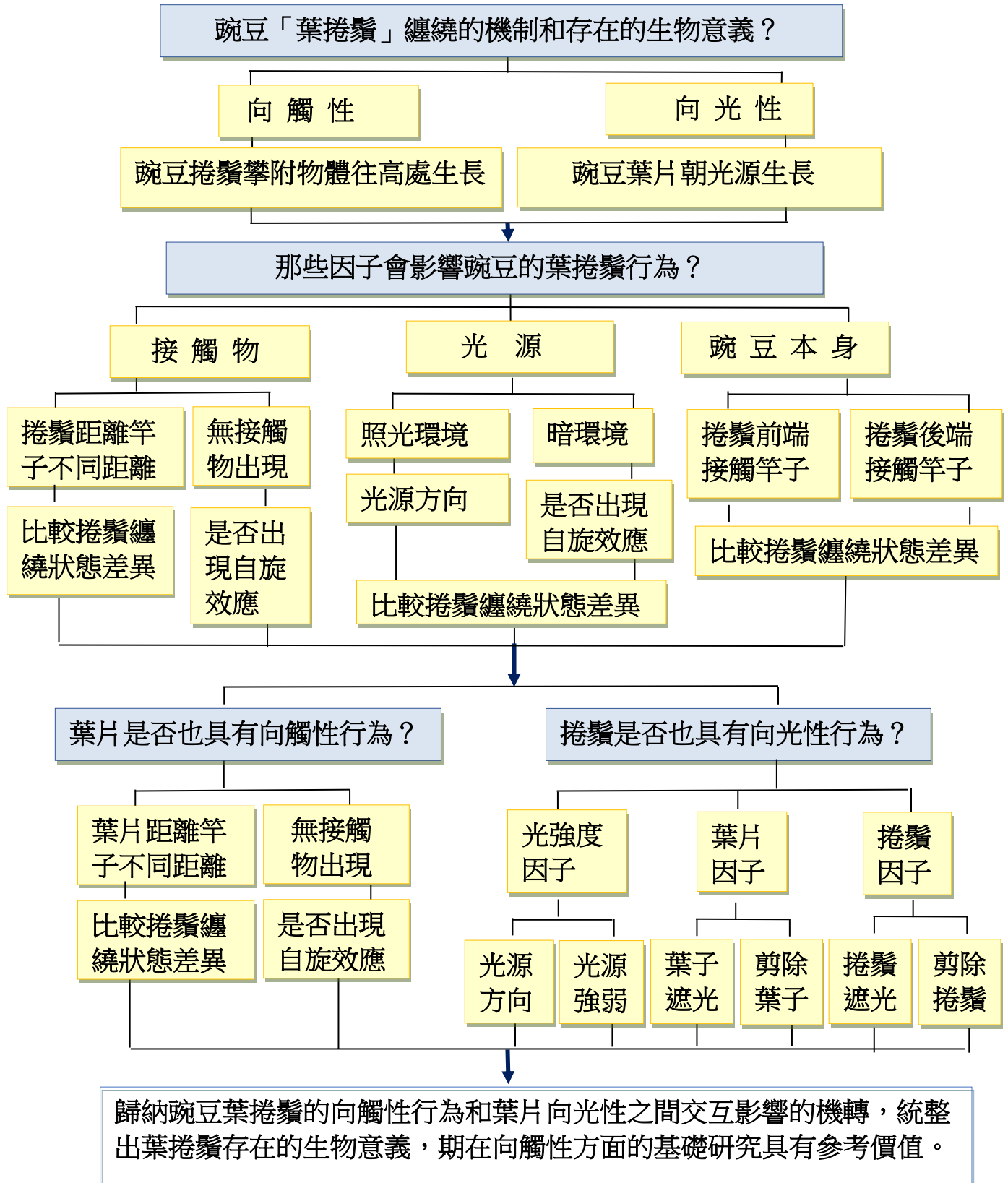
二、生物材料

豌豆 (*Pisum sativum*)



圖二、生物材料和培植用具 (A)豌豆莢和豌豆仁種子；(B)浸泡水的豌豆種子；(C)五吋盆栽和培養土。

肆、研究過程與方法



一、馴化實驗對象和架設實驗觀察屋

(一)馴化實驗對象：

- 1.將成熟豌豆豆莢剝開後，取出豌豆種子仁進行泡水十分鐘，待種皮軟化後置於五吋盆栽(已裝八分土)的土壤面上，每個盆栽置入五顆種子，再覆蓋土壤至全滿。
- 2.待豌豆種子發芽後至幼苗階段莖長度五公分，移至「實驗觀察屋」內適應二十四小時，觀察豌豆生長情形正常後，才開始進行實驗。

(二)架設實驗觀察屋：

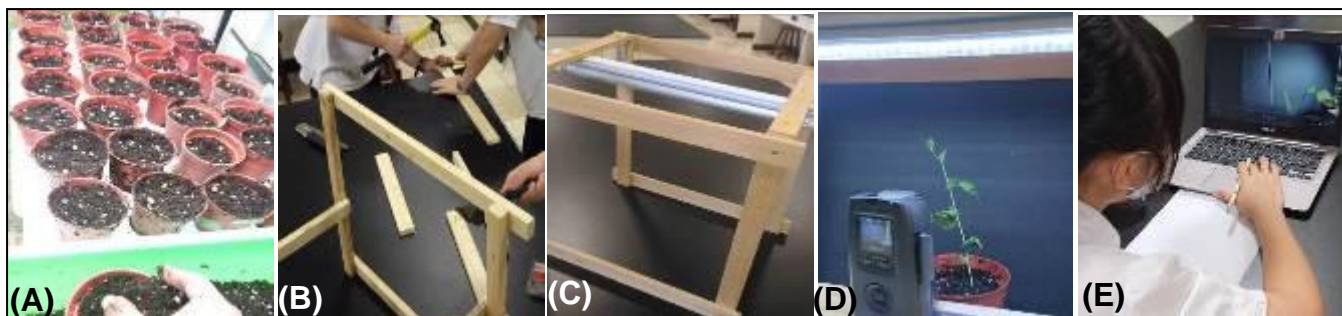
- 1.先量測LED燈架的長、寬、高，並照此數據截切木材，組裝時先用鐵鎚將螺絲釘敲進欲接合處約兩公釐，再用螺絲起子將螺絲拴緊，組裝完畢後再確認是否穩固。
- 2.«實驗觀察屋»木架上方夾放LED燈管專用的T8空台，和電源線連接後，將白光LED燈管裝入並固定在燈架上方，且電源連接定時器以設定光照時間(十二小時)，開啟LED人工白光燈源。最後以光照計測量發光強度(6K Lux)，參考廠商所附光譜儀測試結果及相關文獻，轉換並計算出各光質的光量子通量密度(PPFD 109.8 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)。

(三)儀器設置：「實驗觀察屋」內放置縮時攝影機，調整好焦距進行豌豆葉捲鬚纏繞實驗拍攝，設定每五分鐘拍攝一張照片連續四十八小時，製成影片。

二、觀察豌豆葉捲鬚的自旋現象和向觸纏繞行為

(一)葉捲鬚自旋行為的觀察：

- 1.選擇葉捲鬚三公分長度的豌豆植株置入「觀察實驗屋」中，架置縮時攝影機並設定進行拍攝觀察連續四十八小時。
- 2.由影片中每三十分鐘擷取圖片，由影片、照片觀察葉捲鬚是否在空環繞，和分析「順時鐘」或「逆時鐘」的環繞方向，並記錄之。
- 3.在四十八小時內，觀察葉捲鬚末端是否有「自旋」現象，和區分「左旋」或「右旋」的旋繞方向，求得左、右旋的比例，以Excel繪製統計圖，和使用SPSS軟體以單一樣本T檢定進行統計量分析。



圖三、實驗觀察屋製作和豌豆捲鬚纏繞觀察試驗。(A)泡水後的豌豆種子種植於盆栽內，(B)製作實驗觀察屋，(C)實驗觀察屋裝置 LED 白光燈，(D)將調整好焦距的縮時攝影機置入實驗觀察屋，(E)擷取影片觀察豌豆捲鬚的向性表現。

(二)葉捲鬚觸竿纏繞行為的觀察：

1.選擇葉捲鬚三公分長度的植株置入「觀察實驗屋」中，立竿固定於盆栽，且豌豆葉捲鬚隨機碰觸竿子或依不同條件選擇碰觸位置。

(1)

葉捲鬚碰觸竿子與否和距離竿子不同距離			
(a)捲鬚直接碰觸竿子	(b)距離竿子1 cm	(c)距離竿子2 cm	(d)距離竿子3 cm

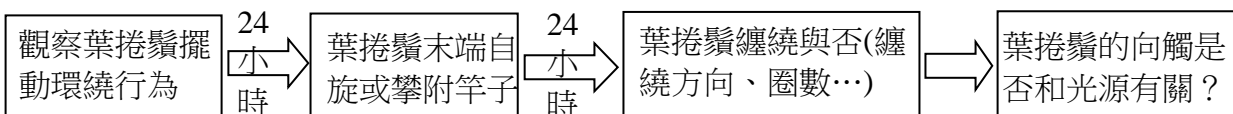
(2)

葉捲鬚的不同部位和竿子碰觸		
(a)捲鬚前端碰觸竿子	(b)捲鬚中端碰觸竿子	(c)捲鬚後端碰觸竿子

2.架置縮時攝影機並設定進行拍攝連續觀察四十八小時，由影片中每三十分鐘擷取圖片，由影片、照片觀察葉捲鬚是否攀附竿子、捲鬚彎曲的角度和纏繞的方向(「左旋」或「右旋」)。

3.當葉捲鬚接觸竿子，捲鬚的彎曲角度 > 45度，視為捲鬚「攀附」住竿子(抓竿)開始纏繞，記錄葉捲鬚開始纏繞的時間點，和實驗四十八小時後捲鬚纏繞的總圈數。

4.數據整理：每個試驗處理至少三重覆，將葉捲鬚的左、右旋比例、開始纏繞的時間點和纏繞的圈數，以Excel繪製統計圖，和使用SPSS軟體進行檢定統計量分析。



三、改變光環境，觀察豌豆葉捲鬚的自旋現象和向觸纏繞行為

(一)在偏光環境中，葉捲鬚觸竿纏繞行為的觀察：

1.以黑色大布幕罩住整個木架，然後將原本「實驗觀察屋」木架上方夾放LED燈管專用的T8空台移至側方，裝入LED燈管和電源線相連後，同樣電源連接定時器以設定光照時間(十二小時，光強度6K Lux)。

2.選擇葉捲鬚三公分長度的植株置入「觀察實驗屋」中，竿子依條件固定於盆栽，且竿子碰觸豌豆葉捲鬚特定部位。

立竿位置和光源是否同向(偏光環境)	
(a)竿子位置和光源同側方向	(b)竿子位置和光源在異側方向

3.架置縮時攝影機並設定進行拍攝連續觀察四十八小時，由影片中每三十分鐘擷取圖片，觀察影片、照片葉捲鬚是否環繞、攀附竿子、捲鬚彎曲的角度、旋繞的方向(「左旋」或「右旋」)，和纏繞總圈數。

(二)在黑暗環境中，葉捲鬚觸竿纏繞行為的觀察：

1.以黑色大布幕罩住整個木架，使豌豆在「實驗觀察屋」內進入黑暗環境。

2.選擇葉捲鬚三公分長度的植株置入「觀察實驗屋」中，竿子依條件固定於盆栽，且竿子碰觸豌豆葉捲鬚特定部位。

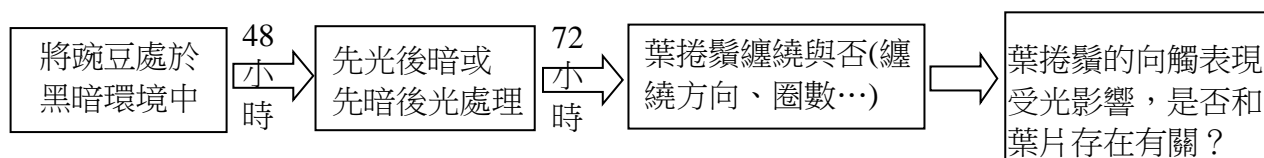
葉捲鬚碰觸竿子與否	
(a)捲鬚直接碰觸竿子	(b)距離竿子1 cm

3.架置縮時攝影機並設定進行拍攝連續觀察四十八小時，由影片中每三十分鐘擷取圖片，觀察影片、照片葉捲鬚是否環繞、攀附竿子、捲鬚彎曲的角度、纏繞的方向(「左旋」或「右旋」)，和纏繞總圈數。

(三)不同光暗條件下，葉捲鬚觸竿纏繞行為的觀察：

- 1.以黑色大布幕罩住整個木架，使豌豆在「實驗觀察屋」內進入黑暗環境48小時。
- 2.選擇葉捲鬚三公分長度的植株置入「觀察實驗屋」中，竿子依條件固定於盆栽，且竿子碰觸豌豆葉捲鬚特定部位或不直接碰觸。
- 3.依下表條件處理，「實驗觀察屋」裝入LED燈管和電源線相連後，同樣電源連接定時器以設定光照時間。架置縮時攝影機並設定進行拍攝觀察連續觀察四十八小時，由影片中每三十分鐘擷取圖片，觀察影片、照片葉捲鬚是否纏繞、攀附竿子、捲鬚彎曲的角度、纏繞的方向和纏繞的總圈數。

前處理(24小時)	(a)先在全黑暗環境(pre-dark)	(b)先照光環境(pre-light)	(c)照光
後處理(開始試驗 48小時)	再改為照光處理(light)	再改為黑暗處理(dark)	照光 (對照組)



4.每個試驗處理至少三重覆，將葉捲鬚的左、右旋比例、開始纏繞的時間點和纏繞的圈數，以Excel繪製統計圖，和使用SPSS軟體進行檢定統計量分析。



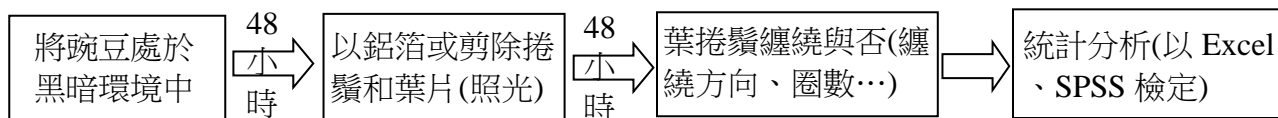
圖四、實驗觀察屋的黑暗環境裝置和豌豆捲鬚纏繞觀察試驗。(A)以大黑布罩住木架作為「黑暗」實驗觀察屋；(B)LED白光燈置於實驗觀察屋的側方，作為側光來源；(C)在黑暗觀察屋內架置縮時攝影機拍攝豌豆葉捲鬚的觸竿纏繞表現。

四、以鋁箔遮住葉片或捲鬚，觀察豌豆葉捲鬚的自旋現象和向觸纏繞行為

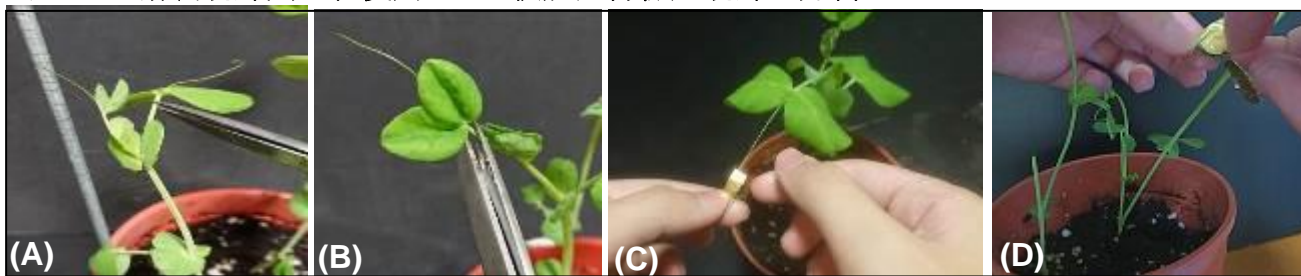
- 1.以黑色大布幕罩住整個木架，使豌豆在「實驗觀察屋」內進入黑暗環境 48 小時。
- 2.選擇葉捲鬚三公分長度的植株置入「觀察實驗屋」中，進行剪除或以鋁箔遮蔽頂芽、葉片等不同部位等處理，然後立竿固定於盆栽，且竿子碰觸葉捲鬚前端部位，架置縮時攝影機並設定每一分鐘拍攝一張照片，連續觀察四十八小時，以製成影片。觀察葉捲鬚纏繞情形，以「未處理」作為對照組，和其他處理做比較。

條件	葉捲鬚		葉片		頂芽
	遮光	切除	遮光	切除	切除

- 3.由影片、照片觀察葉捲鬚是否環繞、攀附竿子、捲鬚彎曲的角度旋、繞的方向(「左旋」或「右旋」)，和實驗四十八小時後捲鬚纏繞的總圈數。



- 4.每個試驗處理至少三重覆，將葉捲鬚的左、右旋比例、開始纏繞的時間點和纏繞的圈數，以Excel繪製統計圖，和使用SPSS軟體進行檢定統計量分析。



圖五、剪除葉片或捲鬚和以鋁箔遮光處理的試驗。(A)剪除頂芽；(B)剪除葉片；(C)以鋁箔遮葉捲鬚前端；(D)以鋁箔遮葉片進行遮光實驗。

五、統計方法

(一)Excel 繪製統計圖：

- (1)將每組三重覆的數據，包括葉捲鬚環繞、纏繞比例和環繞方向(順時、逆時)、纏繞方向(左旋、右旋)比例，求得平均值，以長條圖表示，並利用三重覆的平均數值求的 **SD(standard deviation)**，畫出誤差線(**error bar**)，以此數據最為整體數據分散程度的指標。
- (2)纏繞圈數和開始纏繞的時間點以盒狀圖表示，將當組別整體資料中的最小值、第一四分位數、平均數、第三四分位數與最大值來表示整體數據分布情形。

(二)SPSS 檢定統計量分析：

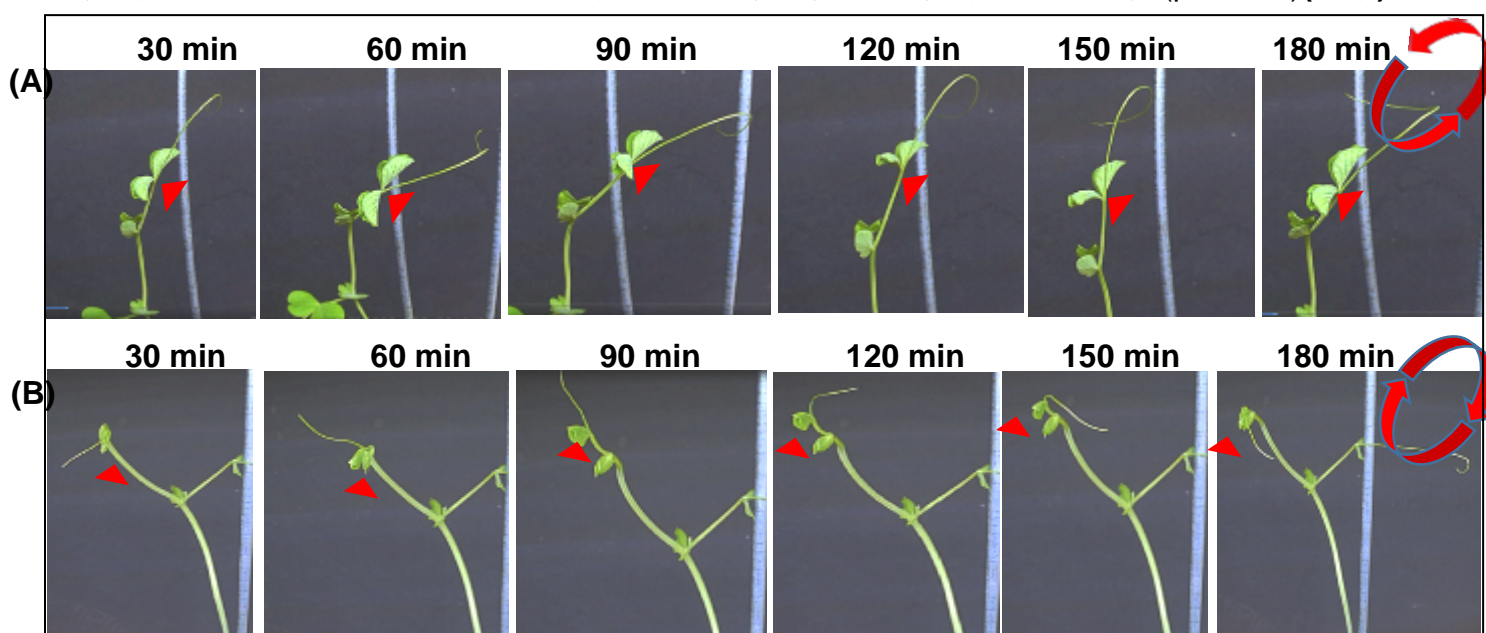
- (1)將葉捲鬚環繞方向的比例(順時、逆時)和纏繞方向的比例(左旋、右旋)，以單一樣本 **T** 檢定(檢定值 **50**)作分析，以比較順、逆時或左、右旋是否具有顯著差異。
- (2)比較各組別的葉捲鬚纏繞的比例、圈數、纏繞的時間點之平均數，以獨立樣本 **T** 檢定或 **ANOVA**(單因子變異數分析)檢定，和虛無假設無差異雙尾檢定(**two-tailed**) 以分析是否有差異或關聯存在，若 **p** 值小於 **0.05**，表示虛無假設不成立，可確定實驗結果是具有顯著差異。

伍、實驗結果

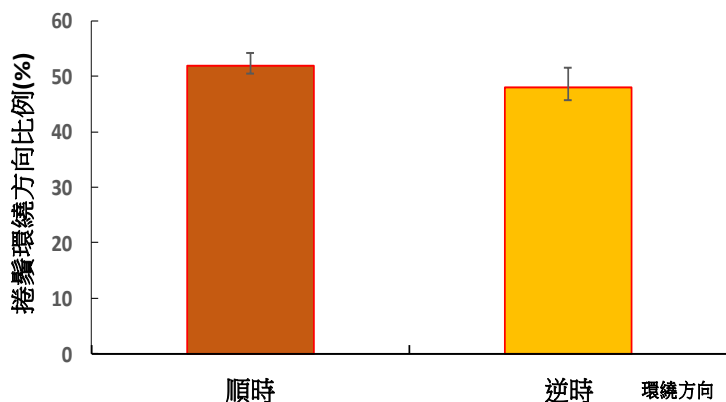
一、研究豌豆葉捲鬚的自旋纏繞行為

(一) 豌豆葉捲鬚有環繞探頭的自旋現象：

豌豆的「捲鬚」是由複葉頂端的小葉變態而成，我們以縮時攝影機拍攝豌豆葉捲鬚的環繞行為，在縮時影片中觀察到葉捲鬚自發性在空中360度不斷地旋繞，捲鬚在四周環繞的行為似乎是在「搜尋」攀附物體，而且環繞擺動方向可能為順時鐘或逆時鐘，兩者比例分別為52%和48%，在統計上無顯著差異($p=0.691$)(圖七)，但在環繞過程中豌豆以捲鬚的基部(葉片基部，如圖中箭頭處)為定點旋轉作為「探頭」。在沒有攀附物的情況下，豌豆葉捲鬚也會有自旋行為，自旋比例約為60%以上，且自旋方向有右旋和左旋，兩者比例在統計上亦無顯著差異($p=0.565$)(圖十)。



圖六、豌豆捲鬚有自發性環繞行為。(A)葉捲鬚逆時鐘方向空中環繞，(B)葉捲鬚順時鐘方向空中環繞。

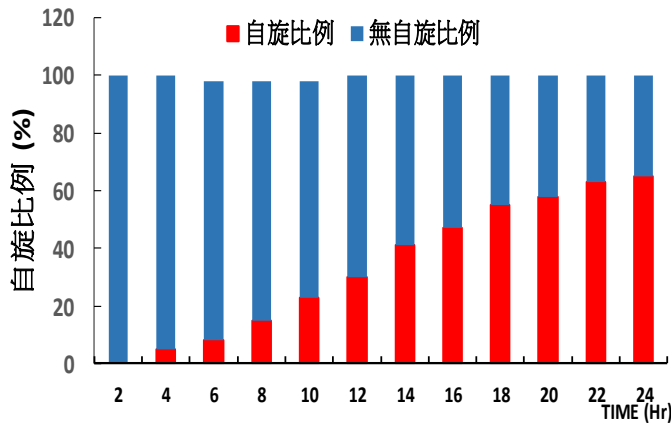


圖七 豌豆葉捲鬚的環繞擺動行為

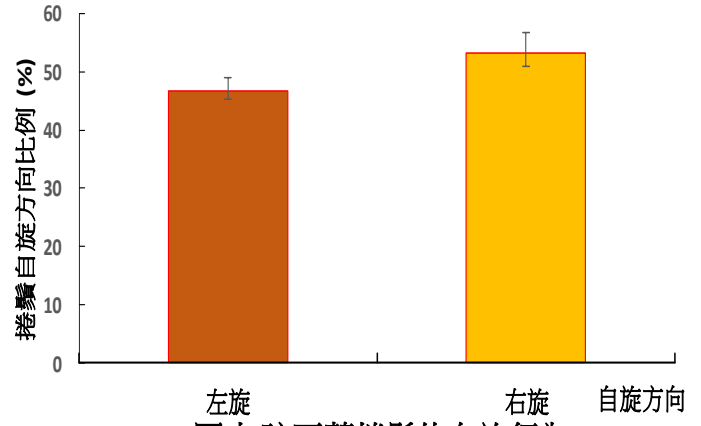
(單一樣本 T 檢定，檢定值 50)



圖八 豌豆的自旋行為(紅色箭頭處為末端自旋，藍色箭頭處為無自旋表現)



圖九 豌豆葉捲鬚前端的自旋行為



圖十 豌豆葉捲鬚的自旋行為

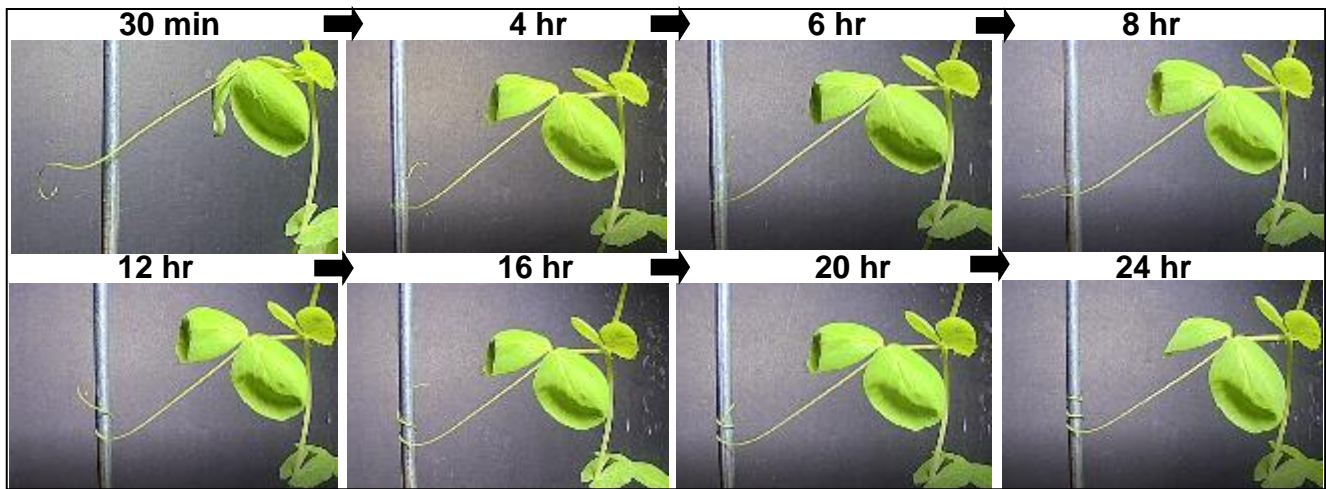
(單一樣本 T 檢定，檢定值 50)

(二) 豌豆葉捲鬚會攀附竿子表現向觸性纏繞：

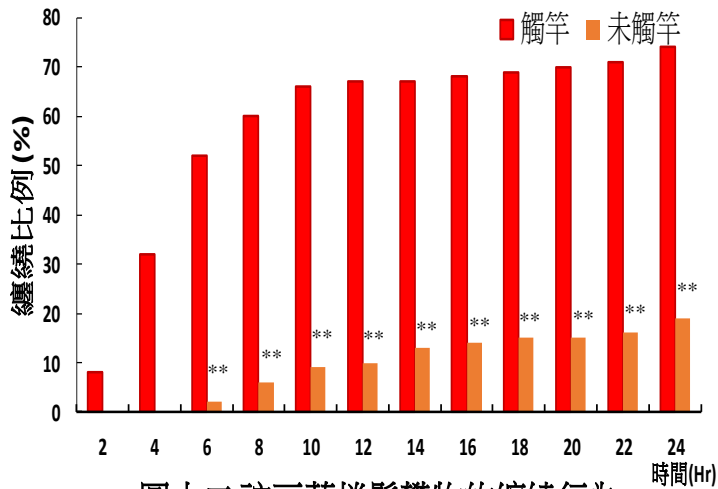
觀察豌豆葉捲鬚碰觸竿子3小時內，即出現攀附竿子的現象，似乎「抓住」竿子進行纏繞，在24小時內纏繞圈數可以達三圈以上(圖十四)，而且纏繞的方向可能左旋或右旋，兩者之間在統計上無顯著差異($p=0.68$)(圖十三)。有趣的是，我們發現到有些組別中葉捲鬚碰觸竿子卻無發生纏繞竿子的行為。

然而未碰觸竿子的組別中，最後在 48 小時出現纏繞的比例不及 30%，在縮時攝影中我們看到葉捲鬚在空中環繞自旋過程中，因為隨機碰觸竿子然後「抓竿」進行纏繞，葉捲鬚開始纏繞的時間點相較於直接碰觸竿子組別會有遲滯現象，時間差達六小時以上(圖十五)，同樣也出現左旋和右旋兩種纏繞的可能性，兩者纏繞方向在統計上亦無顯著差異($p=0.43$)。

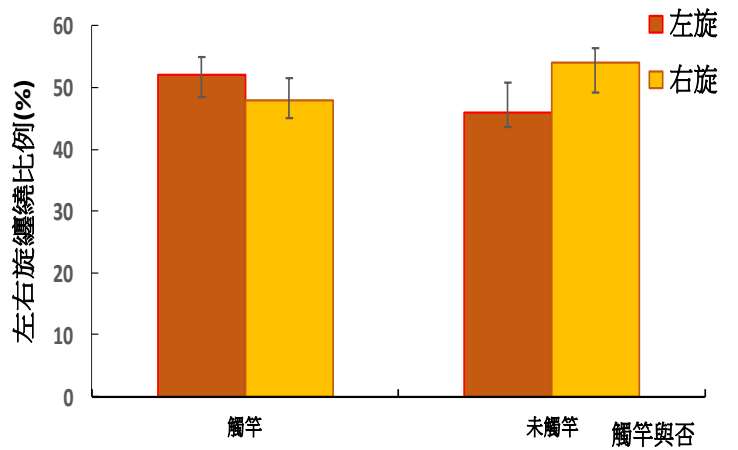
綜合統計的結果，我們發現豌豆葉捲鬚在接觸竿子與否對纏繞竿子行為有顯著的影響性，葉捲鬚在直接接觸竿子條件下的纏繞比例高，且抓住纏繞竿子的時間快，在相同時間內纏繞的圈數多，在 48 小時內多達 4 圈以上。引起我們注意的是，在實驗中葉捲鬚在碰觸竿子而有纏繞的比例大約為 70-80%，我們好奇的是，並非所有葉捲鬚碰觸竿子一定會發生纏繞，其中葉捲鬚發生纏繞的機轉是我們要進一步探討的



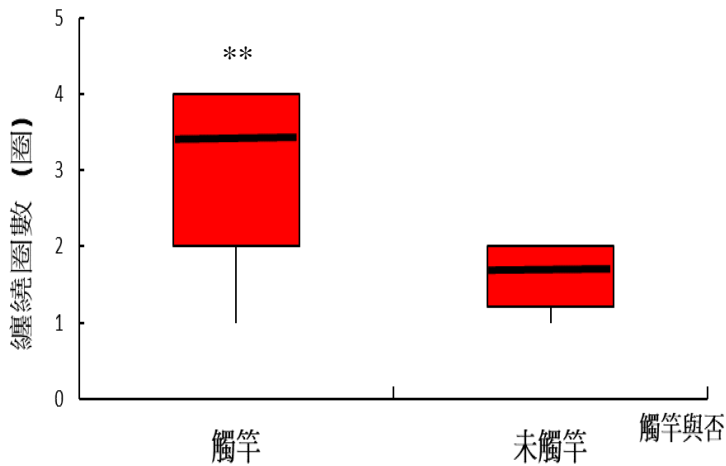
圖十一、豌豆葉捲鬚碰觸竿子的纏繞表現。 10



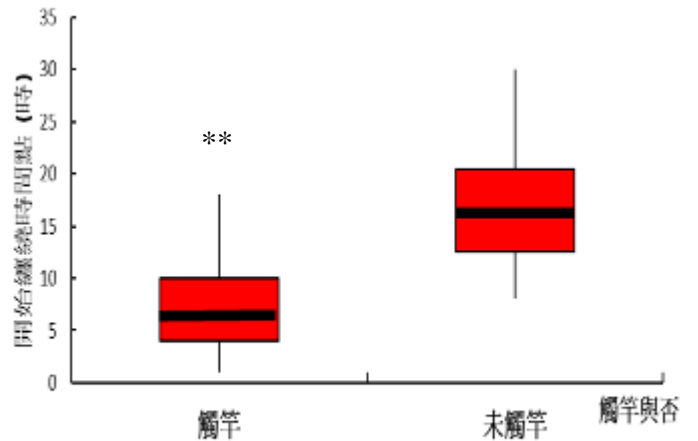
圖十二 豌豆葉捲鬚攀物的纏繞行為
(和未觸竿相比，獨立樣本 T 檢定, **p<.01)



圖十三 豌豆葉捲鬚攀物的纏繞行為
(單一樣本 T 檢定, 檢定值 50)



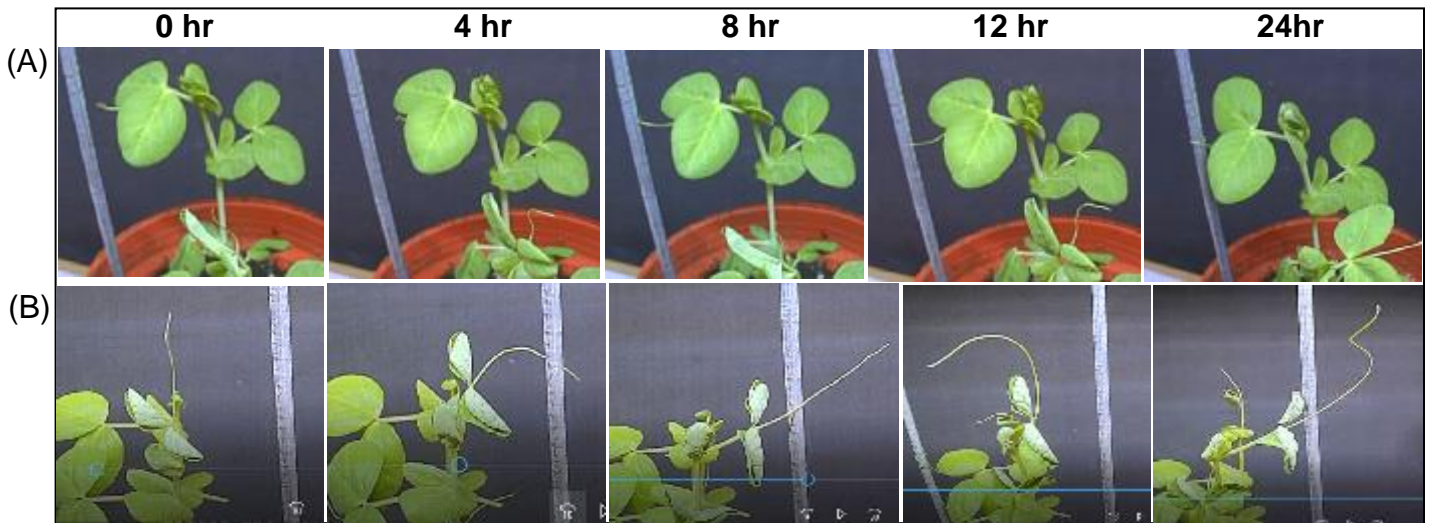
圖十四 豌豆葉捲鬚攀物纏繞的圈數



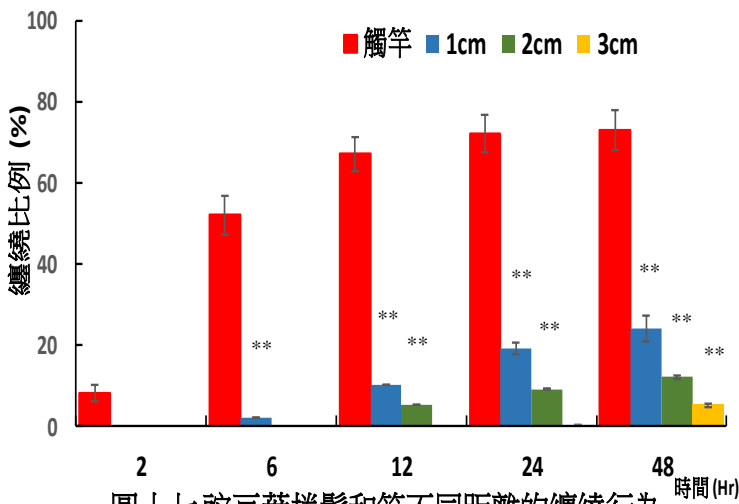
圖十五 豌豆葉捲鬚攀物開始纏繞時間點
(和未觸竿相比，獨立樣本 T 檢定, **p<.01)

(三)葉捲鬚直接接觸竿子有最高的纏繞表現

豌豆葉捲鬚在沒有直接碰觸竿子的情況中，葉捲鬚在空中環繞過程隨機碰觸竿子發生纏繞，而且距離竿子越近，葉捲鬚接觸竿子的機會似乎越大，纏繞竿子的比例越高(圖十七)，距離1公分組別「抓竿」時間明顯快於相較距離竿子2、3公分。但是我們發現葉捲鬚在空中環繞過程中，即使隨機碰觸到竿子，並非每一次皆「抓竿」而有纏繞表現，更加證實不是所有葉捲鬚碰觸竿子一定會發生纏繞。

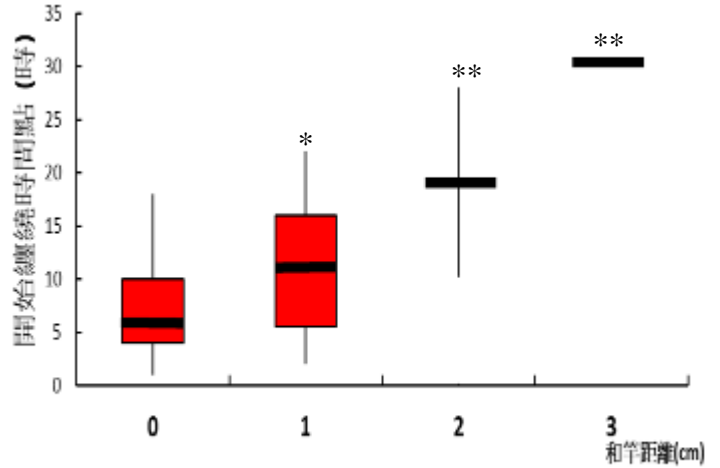


圖十六、豌豆葉捲鬚未接觸竿的向觸性實驗。(A)葉捲鬚距離竿子 1 公分；(B)捲鬚距離竿子 3 公分。



圖十七 豌豆葉捲鬚和竿不同距離的纏繞行為

(和觸竿組相比，獨立樣本 T 檢定, ** $p < .01$)

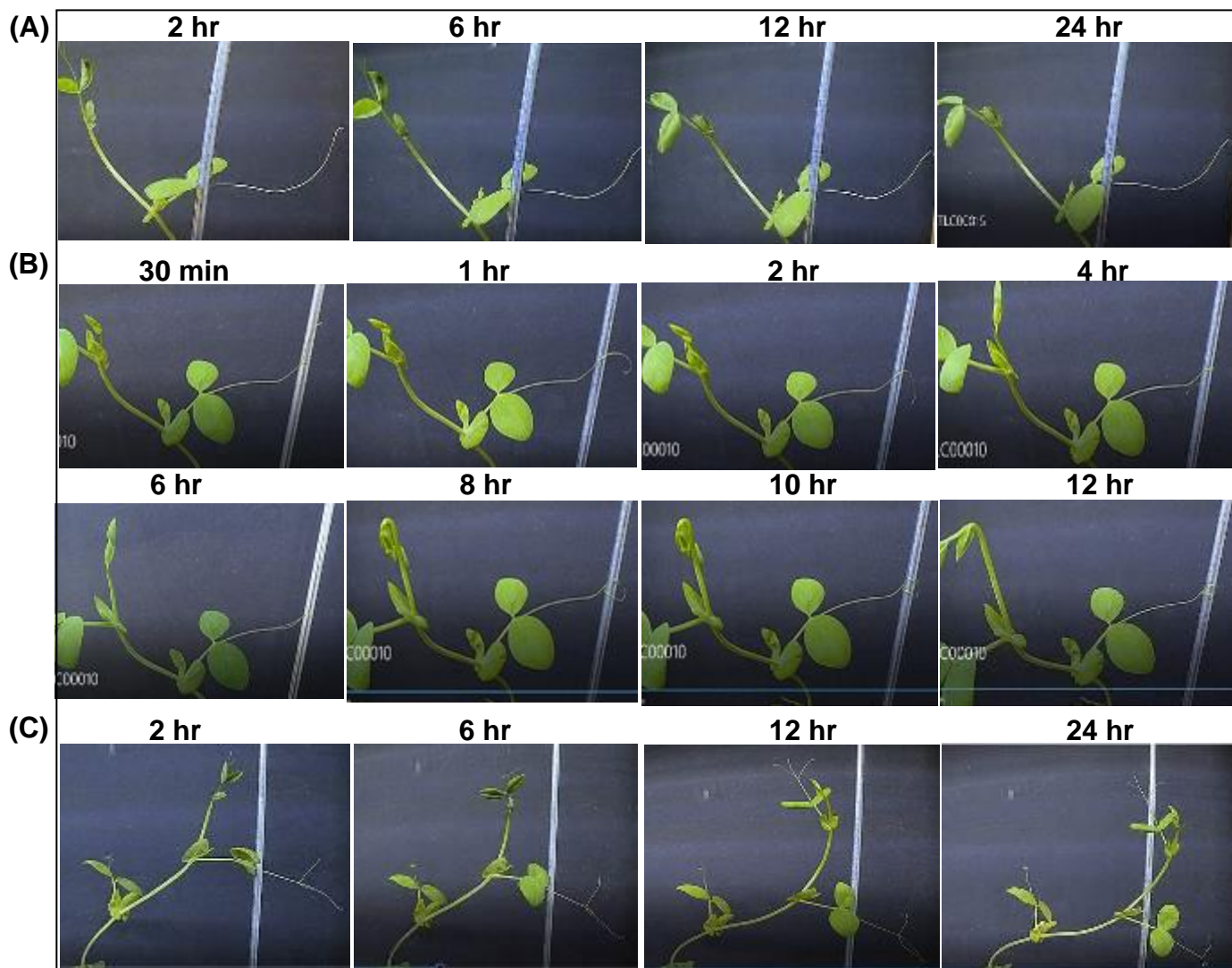


圖十八 葉捲鬚和竿不同距離的開始纏繞時間點

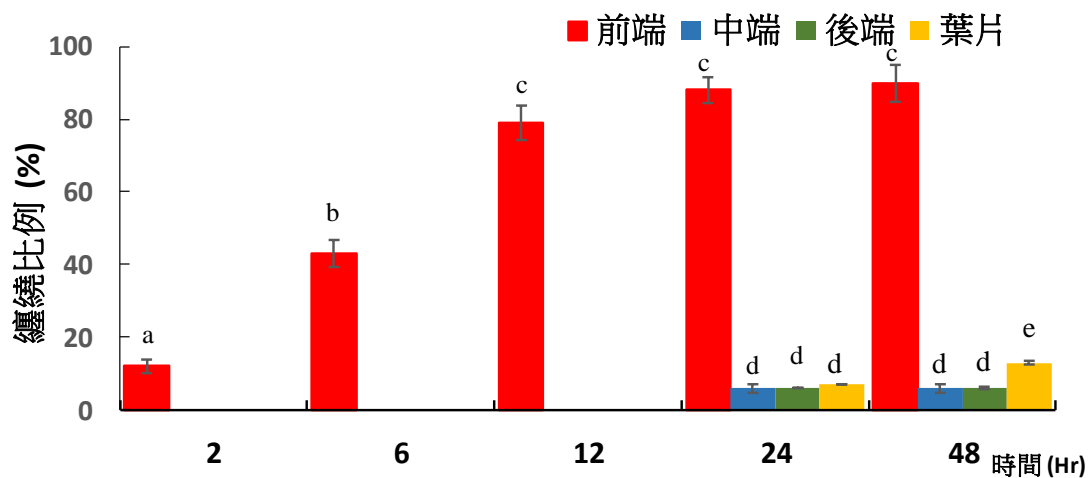
(平均值和觸竿組相比，獨立樣本 T 檢定, * $p < .05$, ** $p < .01$)

(四)豌豆葉捲鬚前端部位碰觸竿子表現向觸性纏繞：

因為發現豌豆葉捲鬚碰觸竿子並非一定有纏繞現象，我們好奇是否和葉捲鬚不同部位碰觸竿子有關，我們分別以葉捲鬚的前端、中間、後端基部和葉片接觸竿子，觀察24小時內的葉捲鬚的纏繞現象。縮時攝影結果發現，葉捲鬚的前端碰觸竿子最快在60分鐘內即「抓竿」開始攀附，接而纏繞(圖二十一)；但是捲鬚的中端或後端部位碰觸竿子，葉捲鬚幾乎不會抓竿纏繞，只有小幅度擺動環繞，葉片碰觸竿子也是相同的現象(圖二十)。但是當我們把竿子原本接觸在捲鬚後端移位至捲鬚的前端位置時，發現捲鬚的前端碰觸竿子很快在2小時內開始攀附，進行纏繞竿子(圖二十二)。我們推測葉捲鬚的前端部位似乎具有「感應」能力，一旦接觸物體就會產生向觸性纏繞行為。

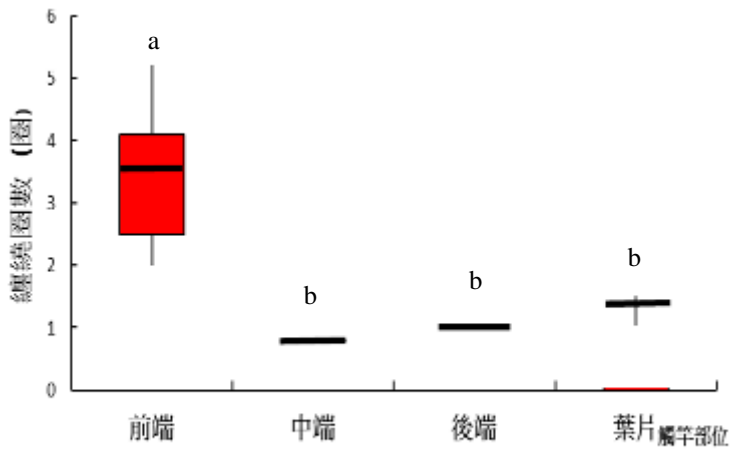


圖十九、豌豆葉捲鬚不同部位碰觸竿子的纏繞表現。(A)葉捲鬚的後端部位碰觸竿子，(B)由後端部位碰觸竿子改由前端部位碰觸竿子，(C)葉片部位碰觸竿子。

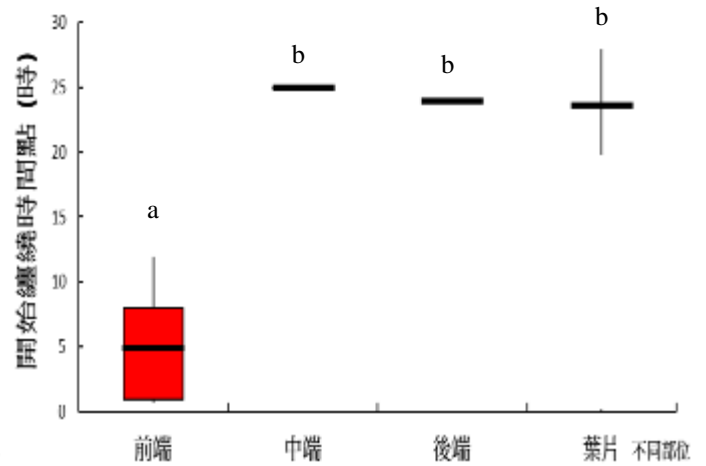


圖二十 豌豆葉捲鬚不同部位觸竿的纏繞行為

(T 檢定分析，相同字母 $p > .05$ ，不同字母 $p < .05$)



圖二十一 葉捲鬚不同部位觸竿的纏繞圈數



圖二十二 葉捲鬚不同部位觸竿開始纏繞時間點

(T 檢定分析相比, 相同字母 $p < .05$, 不同字母 $p > .05$)

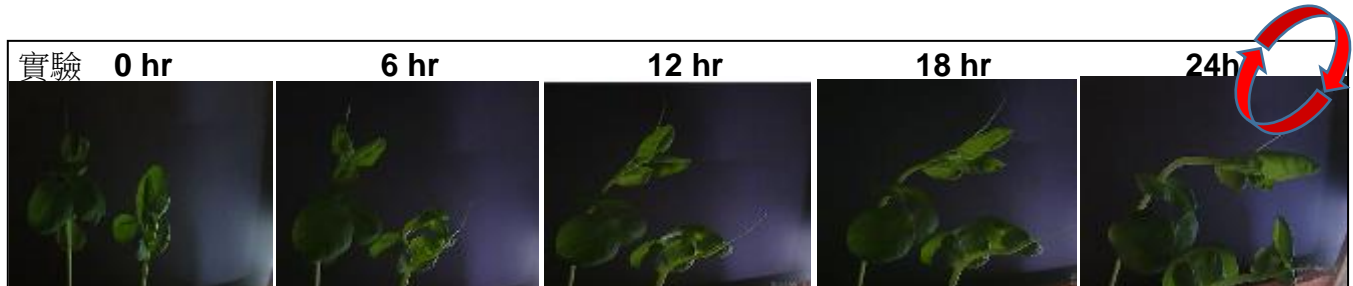
二、研究豌豆葉捲鬚纏繞行為和光線的關聯性

(一) 在側光光源環境中，豌豆葉片和葉捲鬚有向光行為：

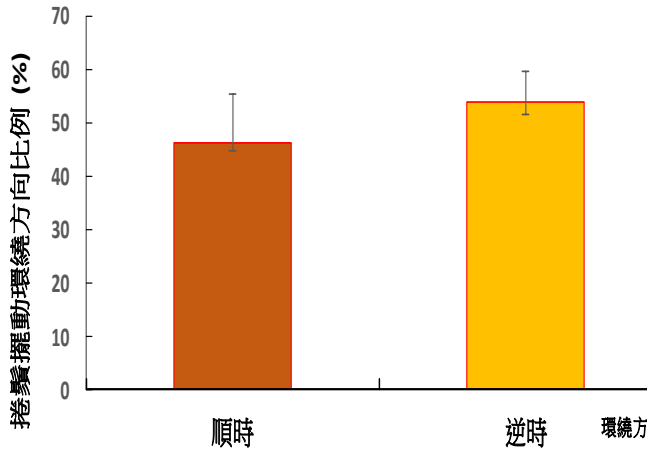
我們好奇由小葉變態而來的葉捲鬚產生向觸纏繞行為，和葉片向光性兩者的關聯性，葉捲鬚前端碰觸竿子的感應機制是否會受到光線的影響呢？首先以側向光源來觀察豌豆的向性生長，經過六小時之後，豌豆的頂芽明顯向光方向生長，使葉片可以獲得更多的光源來進行光合作用，但是我們在縮時影片中觀察到葉捲鬚依然會在空中360度旋繞，在旋繞的過程中向光性表現的葉片將葉捲鬚帶往側光光源的方向，而葉捲鬚以逆時鐘或順時鐘在空中環繞地進行「搜尋」，兩者方向無顯著差異($p = .834$ ，圖二十五)，同樣也有自旋表現，左旋或右旋的比例在統計上亦無顯著差異($p = .681$ ，圖二十六)。由實驗結果我們推測葉片和頂芽感受光源的方向，使葉片帶動葉捲鬚一同朝向側光源方向彎曲生長，同時葉捲鬚進行環繞以搜尋竿子，可以攀物纏繞。



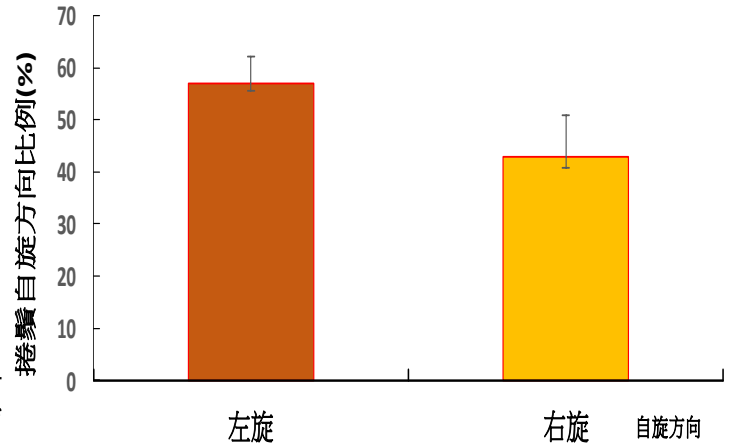
圖二十三、在側光源環境中的豌豆彎曲向光生長實驗。



圖二十四、在側光源環境中的豌豆葉捲鬚環繞表現。(此圖葉捲鬚為順時鐘環繞)



圖二十五在側光源環境中的豌豆葉捲鬚環繞行為



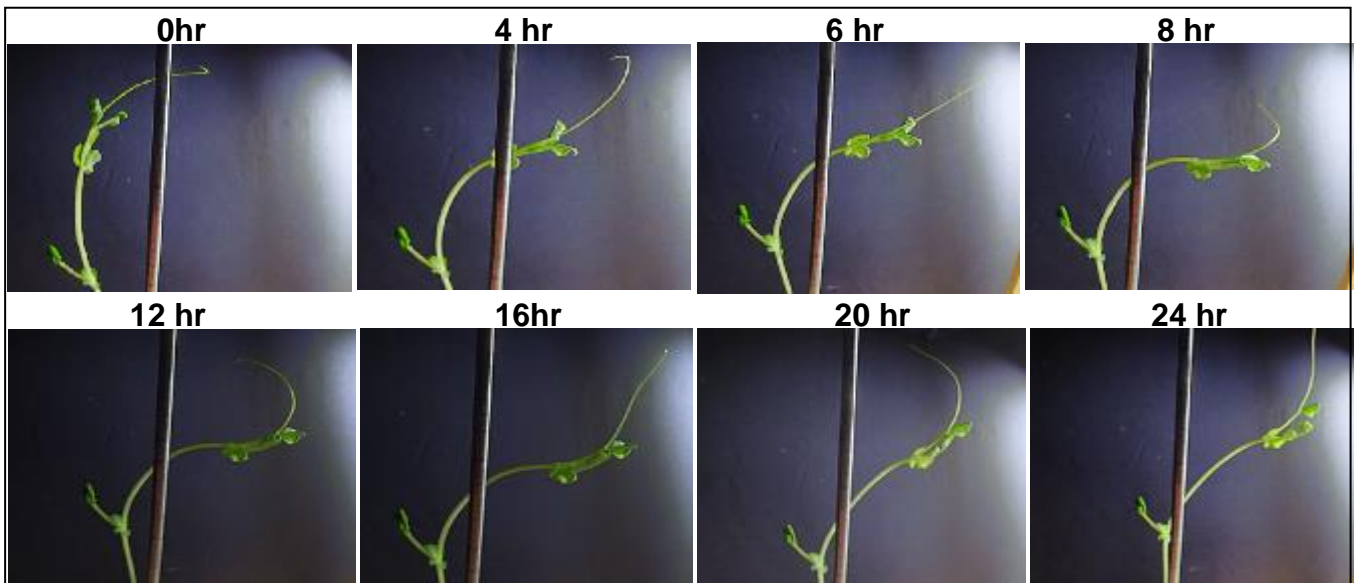
圖二十六在側光源環境中的豌豆葉捲鬚自旋行為

(單一樣本 T 檢定，檢定值 50)

(二)在側光光源環境中，豌豆葉捲鬚表現向觸纏繞行為

(1)觀察側光源和竿子同方向的環境中，豌豆葉捲鬚的纏繞行為：

我們立一竿子在側光源同方向，觀察葉捲鬚是否會攀附竿子而發生纏繞行為，實驗結果發現葉捲鬚在4~6小時內即對光線刺激有所反應，捲鬚明顯朝向光源彎曲，但未直接碰觸竿子的捲鬚約20%比例發生纏繞，雖然竿子和光源同一方向，但是葉捲鬚在快速朝光源方向生長的過程，即使接觸竿子也不一定「抓竿」，我們猜測可能是因為葉捲鬚不同部位碰觸竿子，或者葉捲鬚對光線刺激的效應大於碰觸竿子的反應，於是我們將竿子立於和側光源不同方向進行實驗。

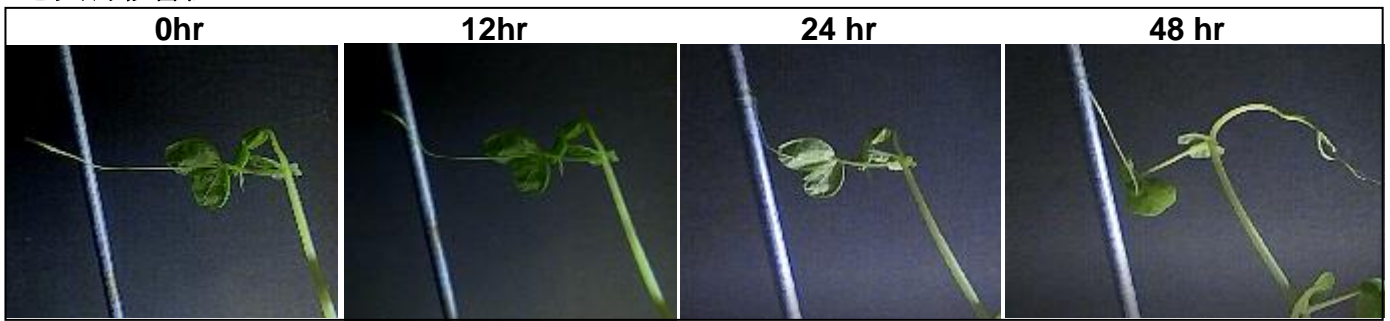


圖二十七、側光源和竿子同向(未觸竿)的環境中，豌豆葉捲鬚的纏繞行為。

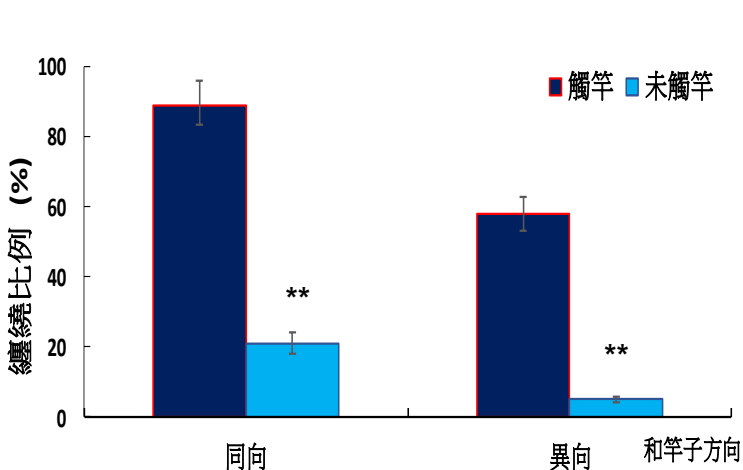
(2)觀察側光源和竿子不同方向的環境中，豌豆葉捲鬚的纏繞行為：

我們立一竿子和側光源不同方向，觀察豌豆葉捲鬚的纏繞行為，實驗結果發現捲鬚隨著向光的葉片被動彎曲朝側光源方向環繞，但葉捲鬚在空中順時鐘或逆時鐘環繞過程中，葉捲鬚前端部位都可能隨機碰觸到和光源反向的竿子，發生「抓竿」而纏繞竿子，但纏繞比例顯著降低。可是如果我們將葉捲鬚前端部位直接碰觸竿子，即使竿子和光的方向不同，捲鬚會直接「抓竿」，增

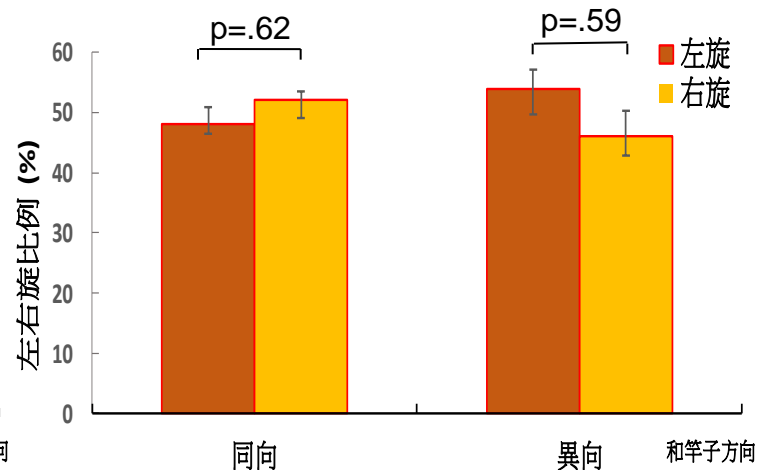
加向觸纏繞比例(圖二十九), 但纏繞圈數相較和光源同向處理者顯著減少(圖三十一)。我們由豌豆葉捲鬚發生纏繞的機率和竿子與光源之間的相對位置推測, 捲鬚碰觸和光同向的竿子, 受到光強度刺激使葉捲鬚可以快速纏繞, 且圈數多; 即使捲鬚未直接碰出竿子, 也會受到和竿子同向的光刺激可以增加捲鬚環繞的幅度, 其暗示因為葉片具有向光性, 也帶動葉捲鬚往光源方向前進, 使葉捲鬚碰觸和光源同向的竿子機率大, 但是碰觸的部位可能無法「感應」而抓竿。由結果推測葉捲鬚纏繞機制中, 捲鬚前端直接碰觸攀附物是發生纏繞的重要關鍵, 而光源的刺激在其中似乎也具有影響性。



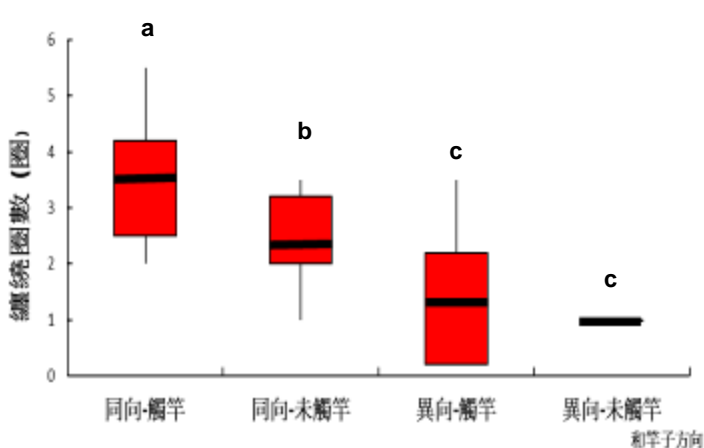
圖二十八、側光源和竿子異向(直接觸竿)的環境中, 豌豆葉捲鬚的纏繞行為。



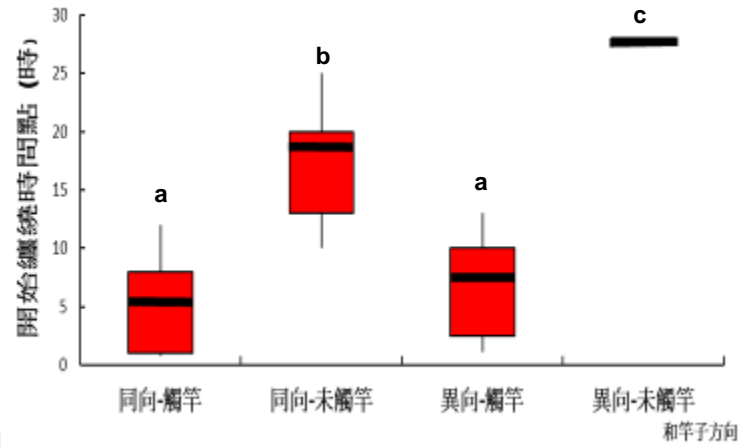
圖二十九 葉捲鬚在側光環境中的纏繞行為
(和觸竿相比, 獨立樣本 T 檢定, ** $p < .01$)



圖三十 葉捲鬚在側光環境纏繞的左右旋比例
(單一樣本 T 檢定, 檢定值 50)



圖三十一 葉捲鬚在側光環境的纏繞圈數

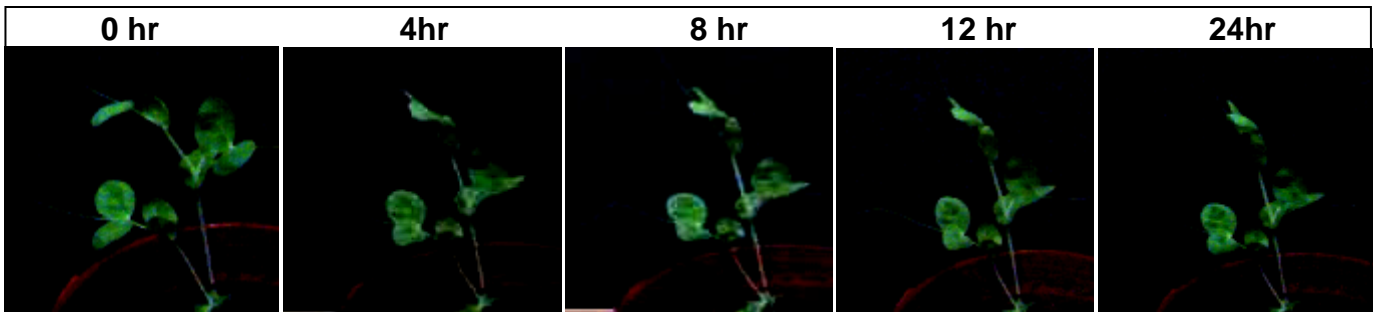


圖三十二 葉捲鬚在側光環境的開始纏繞時間點
(T 檢定分析, 相同字母 $p > .05$, 不同字母 $p < .05$)

三、觀察豌豆在黑暗中葉捲鬚的向性表現

(一)豌豆葉捲鬚在長期黑暗抑制環繞探頭和纏繞行為

我們好奇光線變因在豌豆葉捲鬚纏繞行為中所扮演的角色，於是觀察在黑暗環境中葉捲鬚是否會攀附竿子而發生纏繞。實驗結果發現葉捲鬚在沒有光線刺激下，在空中環繞的幅度和自旋比例顯著降低(圖三十五)，而且連續48小時黑暗之後葉捲鬚在直接接觸竿子條件下，只有極低比例發生「抓竿」的向觸纏繞現象，和光照組相比，兩者纏繞比例有顯著關係，且捲繞的圈數在48小時內不及一圈，開始纏繞的時間點比照光環境下遲滯。這似乎說明光線有助於葉捲鬚在空中環繞以探索攀附物，在葉捲鬚環繞攀附過程中具有「啟動」效應，暗示「光線」會促進葉捲鬚向觸纏繞的表現。



圖三十三、在黑暗環境中的豌豆葉捲鬚環繞表現。

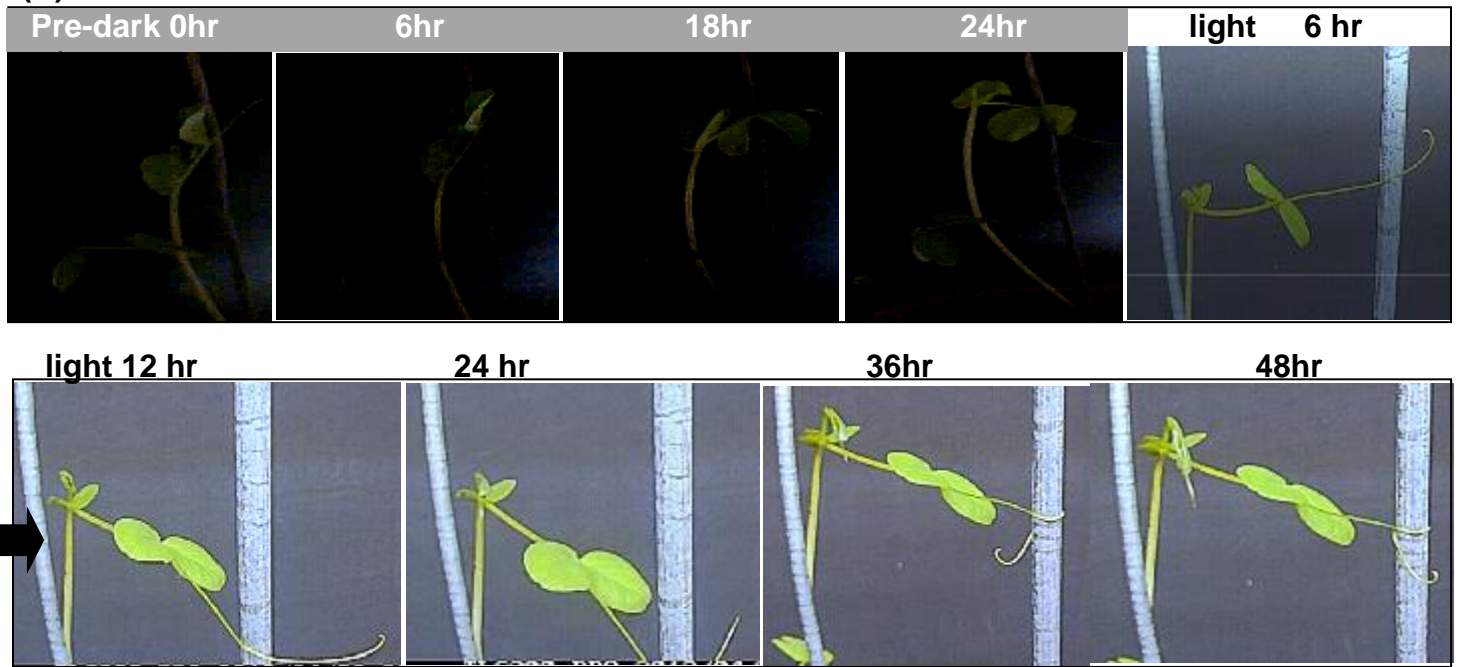
全黑暗		24 Hr	48 Hr	
(A)	先黑暗	24 Hr	後照光	48 Hr
(B)	先照光	24 Hr	後黑暗	48 Hr

(二)在黑暗處理下，葉捲鬚觸竿纏繞行為的能力顯著降低：

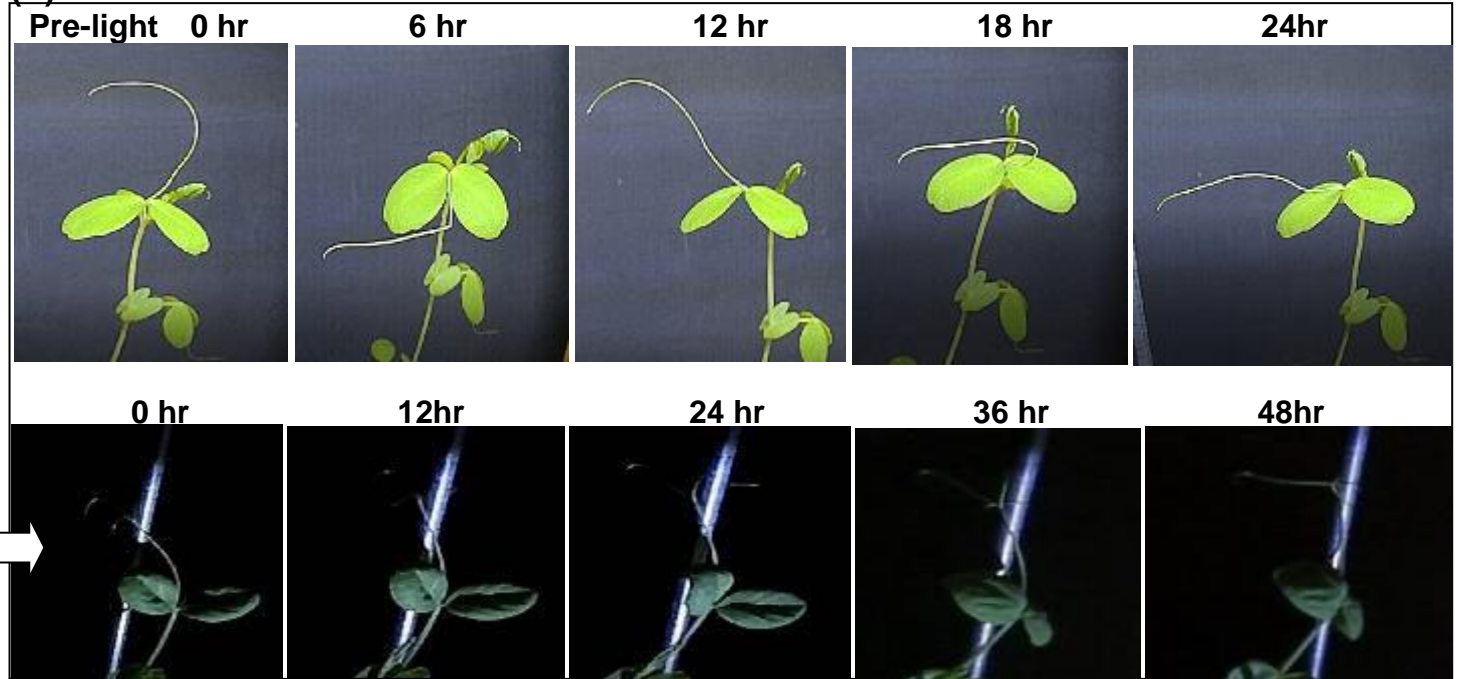
在長期黑暗中，葉捲鬚攀附竿子的纏繞表現明顯降低，我們好奇短暫的黑暗處理下葉捲鬚的向性表現。於是我們以「先黑暗後照光」(pre-dark)和「先照光後黑暗」(pre-light)的方式分別進行試驗，比較葉捲鬚在長期(long-term)黑暗和短暫(short-term)黑暗中，葉捲鬚表現的差異。原本照光的豌豆在進入黑暗48小時後，葉捲鬚在初期仍表現環繞，但12小時後環繞幅度明顯變小，在後期只有輕微緩慢擺動(圖三十五)，如果捲鬚前端直接碰觸竿子，雖然有接近30%的比例會纏繞竿子，但纏繞圈數顯著降低(圖三十六、三十七)。相反豌豆在黑暗下48小時之後置於光照下，葉捲鬚在的環繞從擺動小漸漸幅度擴大，如果前端部位觸及竿子也會纏繞，但發生纏繞時間點相較全光處理延滯約12小時以上，纏繞的速度明顯減緩(圖三十八)。試驗結果指出光線在葉捲鬚環繞和纏繞攀附物過程具有關鍵要素，捲鬚在黑暗初期仍有環繞和纏繞表現，但長期黑暗的處理則抑制在空中環繞探索和「抓竿」向觸纏繞表現，光線透過何種生理機轉啟動纏繞機制是我們

進一步想要探討的。

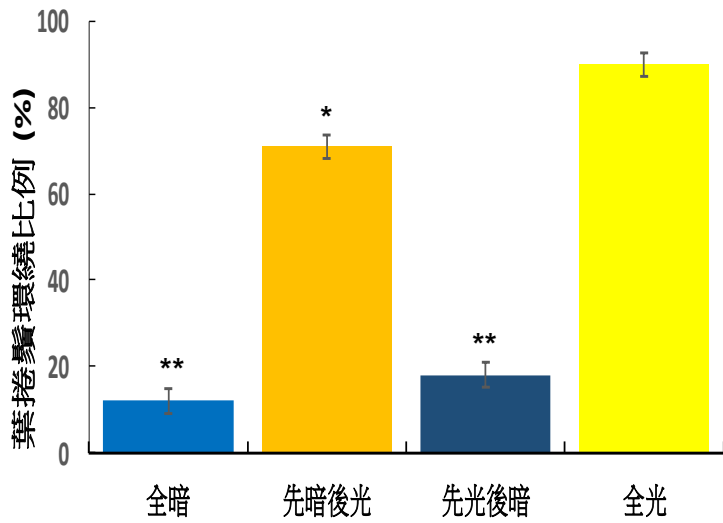
(A)



(B)

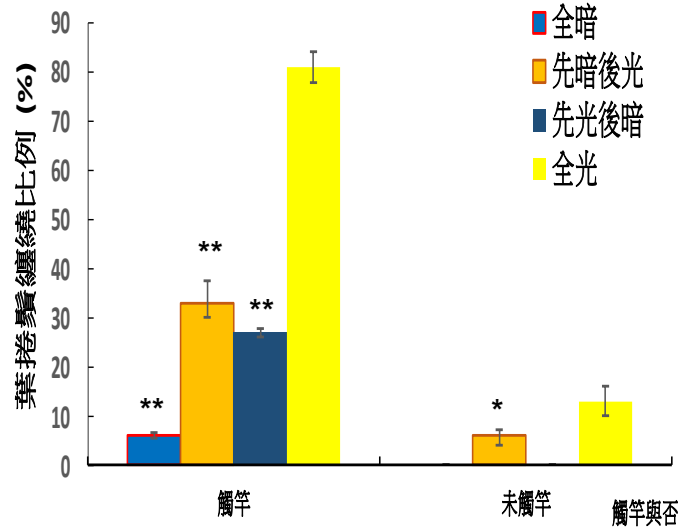


圖三十四、短暫黑暗對豌豆葉捲鬚纏繞的表現。(A)短暫黑暗環境(pre-dark 先黑暗後照光試驗)中的豌豆葉捲鬚環繞表現。(B)短暫黑暗環境(pre-light 先照光後黑暗試驗)中的豌豆葉捲鬚環繞表現。



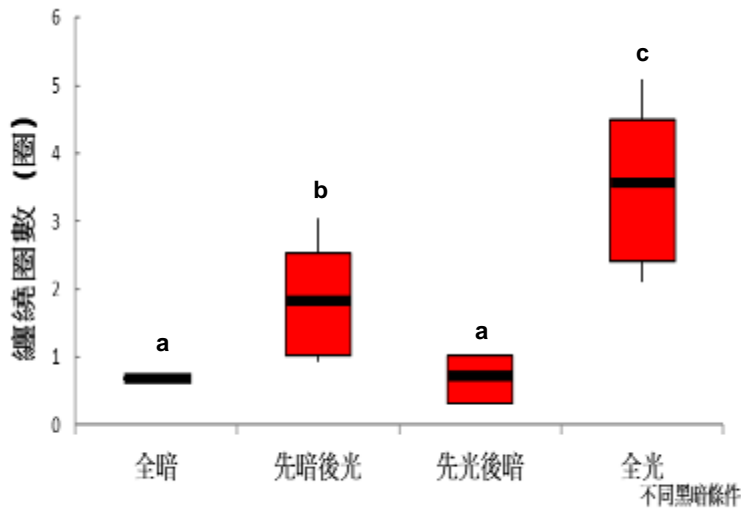
圖三十五 豌豆葉卷鬚在黑暗條件下的環繞行為

(ANOVA 單因子變異數分析, 和全光相比, * $p < .01$, ** $p < .05$)

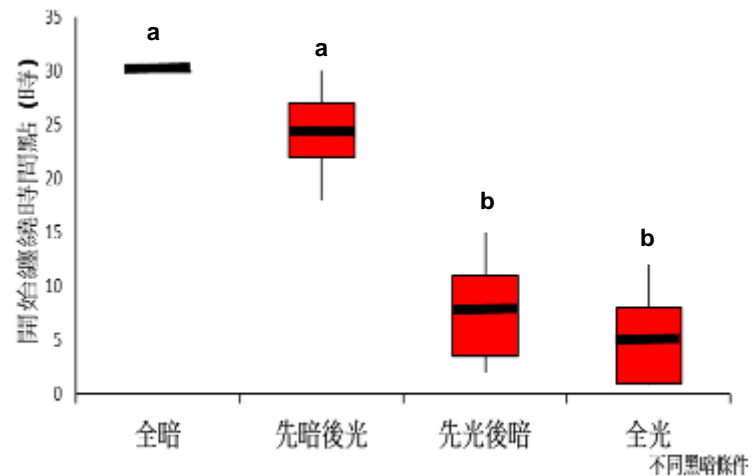


圖三十六 豌豆葉卷鬚在黑暗條件下的纏繞行為

(ANOVA 單因子變異數分析, 和全光相比 * $p < .01$, ** $p < .05$)



圖三十七 豌豆葉卷鬚在黑暗環境的纏繞圈數



圖三十八 葉卷鬚在黑暗環境開始纏繞時間點

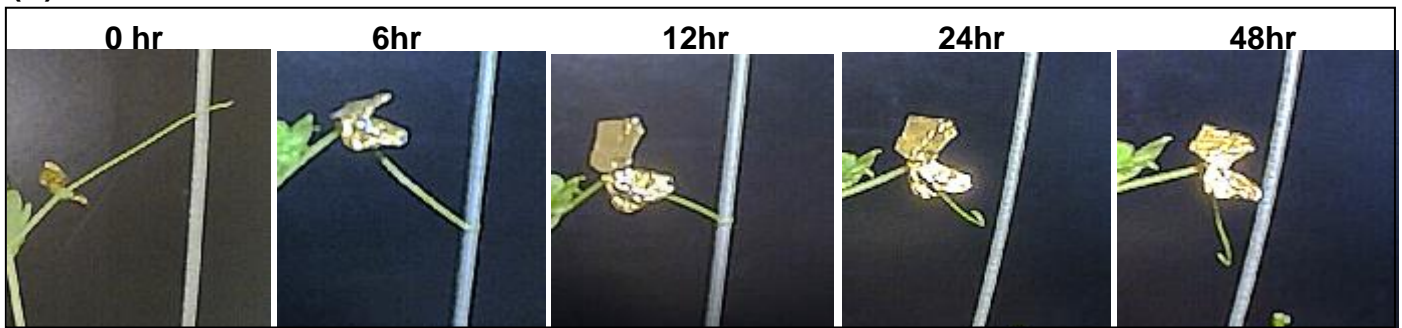
(T 檢定分析, 相同字母 $p > .05$, 不同字母 $p < .05$)

四、豌豆葉捲鬚向觸行為的機轉研究

我們透過試驗知道光線在葉捲鬚的向觸纏繞具有關鍵性，但感應光線的部位是我們進一步要探討的。我們將豌豆處於黑暗環境48小時後以照光處理，分別以不透光鋁箔將葉片和葉捲鬚進行遮光，發現「遮光葉片」的葉捲鬚接觸竿子時，剛開始有纏繞現象，大約旋轉180°卻離開竿子，似乎沒有「束緊」表現，相較對照組只有10%比例有纏繞(圖四十一)。

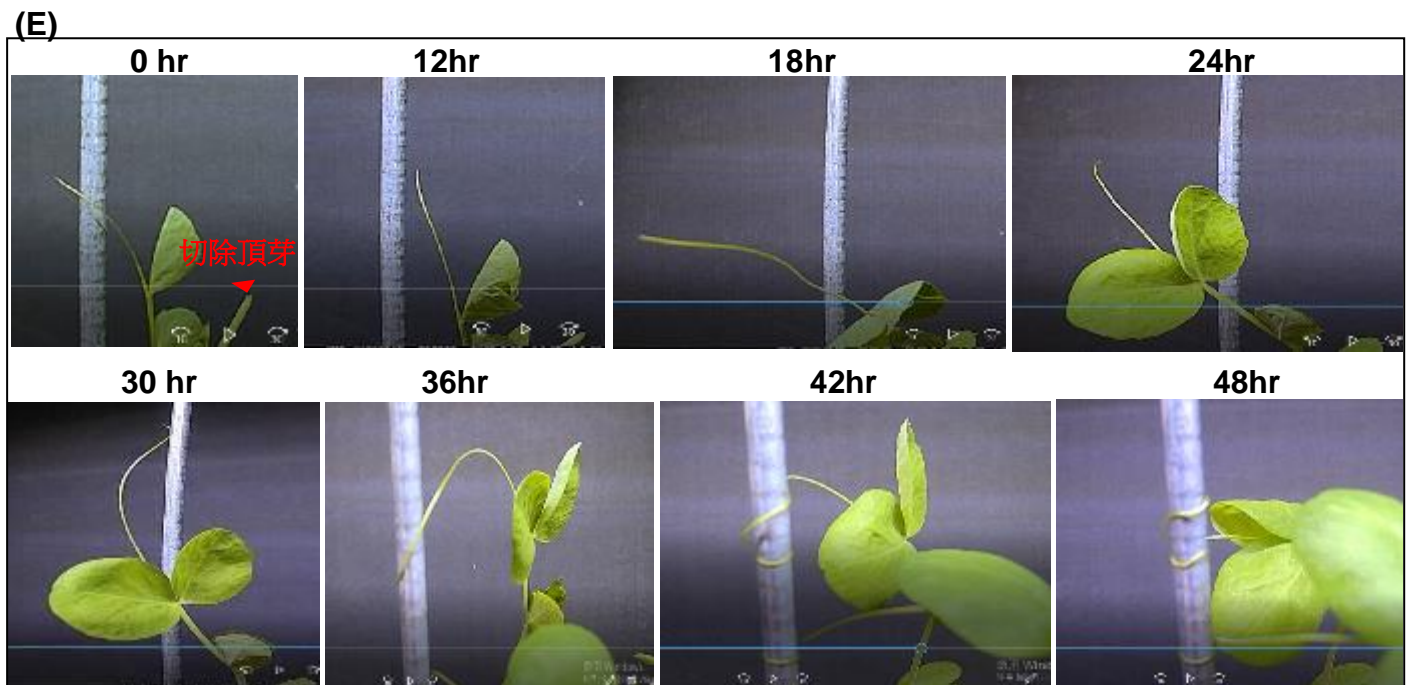
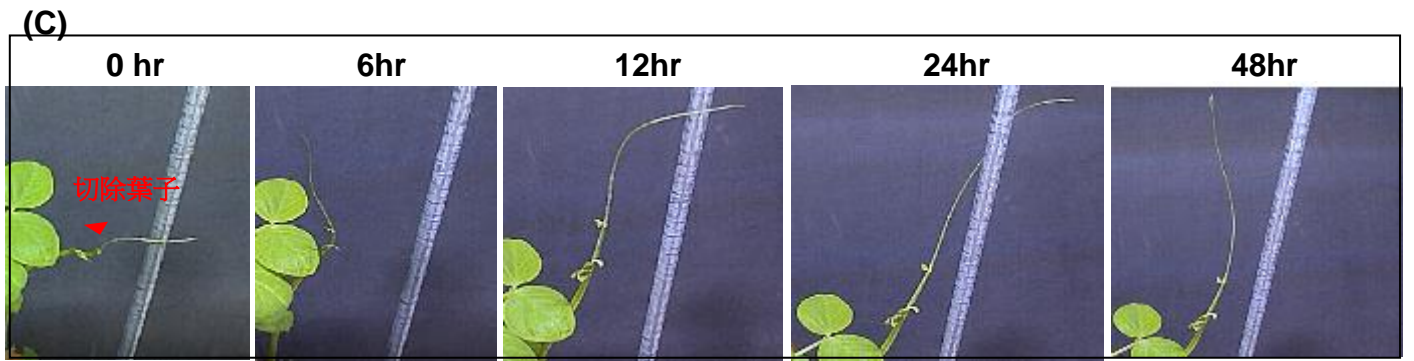
當我們將「葉捲鬚前端遮光」時，如果竿子直接碰觸鋁箔處，則葉捲鬚並未有纏繞現象，但如果竿子接觸葉捲鬚的前端(未碰觸鋁箔)，則葉捲鬚會發生纏繞。如果「葉捲鬚前端切除」，則原本中端部位碰觸竿子並無纏繞表現。我們也發現「切除葉片」的葉捲鬚也沒有向觸纏繞現象，葉捲鬚在空中環繞探索，但環繞的角度變小且緩的趨勢(圖四十)。我們也好奇產生生長素的頂芽是否也參與捲鬚纏繞的機轉，於是我們進行「切除頂芽」試驗中，發現葉捲鬚碰觸竿子很快發生纏繞且圈數也在三圈以上，和對照組無顯著差異($p < .01$)(圖四十二)。從結果說明豌豆在葉捲鬚向觸纏繞表現中，捲鬚「前端」部位的確是重要的「感應」部位，且負責執行纏繞動作，而纏繞的驅動力似乎和「葉子」相關，當葉子切除或葉子被遮光，則葉捲鬚的向觸纏繞表現消失。綜合以上實驗，我們推測豌豆的葉捲鬚前端部位碰觸竿子會發生纏繞，但過程中需要葉子的存在和照光的環境，捲鬚的前端部位「感應」和葉子照光的「驅動」功能在向觸纏繞機轉中扮演重要角色。

(A)

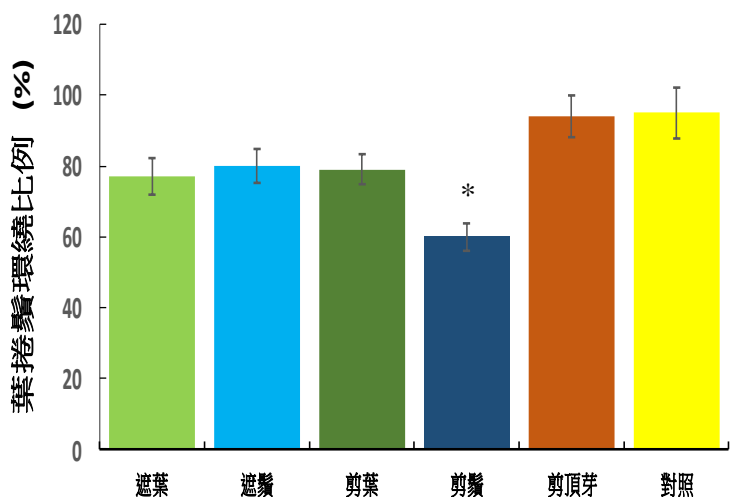


(B)

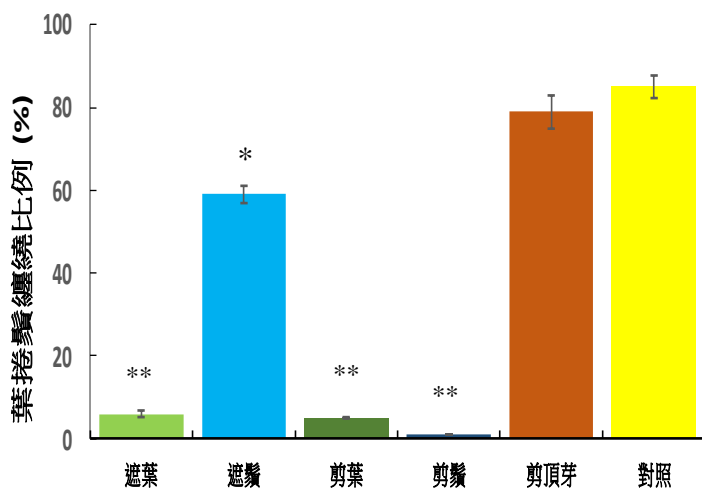




圖三十九、遮光或剪除捲鬚、葉片對葉捲鬚纏繞的影響。(A)遮光葉子對豌豆葉捲鬚向觸行為的影響；(B)遮光葉捲鬚對豌豆葉捲鬚向觸行為的影響；(C)切除葉片對豌豆葉捲鬚向觸行為的影響；(D)切除葉捲鬚尖端對豌豆葉捲鬚向觸行為的影響；(E)切除頂芽對豌豆葉捲鬚向觸行為的影響。

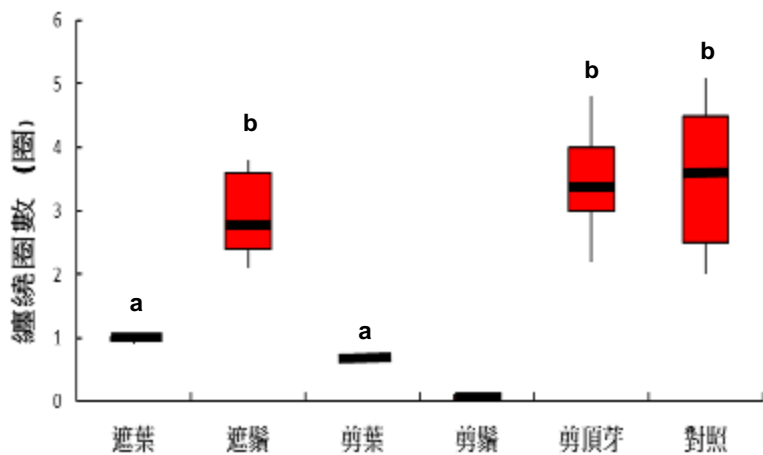


圖四十 豌豆葉捲鬚在遮光和剪除下的環繞行為

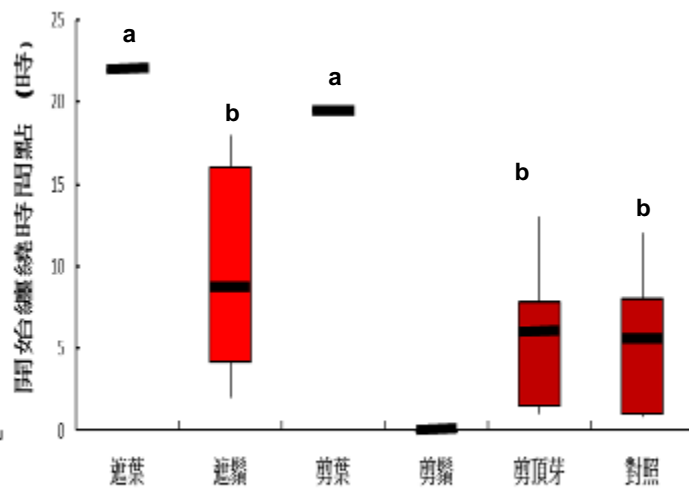


圖四十一 豌豆葉捲鬚在遮光和剪除下的纏繞行為

(各組和對照組相比 ANOVA 統計分析,* p<.05,**, p<.01)



圖四十二 豌豆葉捲鬚在遮光和剪除下的纏繞圈數



圖四十三 豌豆葉捲鬚在遮光和剪除下的開始纏繞時間點

(T 檢定分析, 相同字母 p>.05, 不同字母 p<.05)

陸、討論

一、豌豆葉捲鬚纏繞的生物意義：

植物無法如動物般自由運動，而以某種生理機轉朝向或遠離刺激生長，稱為向性機制，向性是生物察覺到自然規律所表現的行為，當它們試圖在地球重力場中要正確定位時，或感應光源等其他刺激因子，可以使植物體進行彎曲而「正確」地將其自身定位。這種反應已經演變了數百萬年，並發揮了很好的作用得以適應生存。

植物向高處生長，是為了爭取陽光進行光合作用，同時也將花和果實置放在更高處的有利位置，以利增加傳播花粉和種子的機會，或者一些沒有強勁枝幹或莖部的攀緣植物，如果能依附其它植物、牆壁或物體，也能高高向上爬！攀緣植物可根據不同的攀緣特性分為：攀緣植物和匍匐植物等。攀緣植物會以不同的結構來攀附其它物體，例如捲鬚，一圈一圈的可以有效地纏繞著其它植物的樹枝或物體，絲瓜、蛇王藤、葡萄和豆類等都是利用捲鬚來攀援。捲鬚一般由莖變態而成，例如葡萄和大部分瓜類的捲鬚都是由莖變態而成，此外，捲鬚亦可由葉片、葉柄，甚至是托葉變態而成，而豌豆的捲鬚就是由羽狀複葉頂端的一塊小葉所變成，可以攀緣在其他物體上，補償了莖幹細弱，支持力不足的弱點(劉清水, 1997)。

攀緣性植物可以利用本身柔軟之莖部纏繞在其它植物或支柱上，當纏繞莖向上盤旋時，其旋轉方向具有左旋及右旋之分。有關纏繞莖纏繞方向的機制目前仍無確切定論。劉清水的文獻報導攀緣性植物的攀緣方式與其分類親緣關係有關，例如具纏繞莖植物的豆科、蓼科、落葵科、旋花科、桑科及茜草科等，其中除桑科的葎草及茜草科的雞屎藤為右旋性外，其餘均為左旋性纏繞莖。劉清水指出纏繞莖之右旋性或左旋性為先天性行為，也不會因為支柱的有無或支柱的方向而改變左旋或右旋纏繞(劉清水, 1997)。我們的研究透過觀察和實驗發現豌豆的捲鬚並無固定的左旋或右旋方向，即使在沒有竿子支柱的條件下，豌豆葉捲鬚末端仍有高比例的捲繞行為，有趣的是即使葉捲鬚接觸竿子支柱，也不一定發生纏繞竿子的行為。外在環境因子和內部生理機轉如何調控豌豆葉捲鬚纏繞行為是本研究的主軸探討方向。

二、調控豌豆葉捲鬚纏繞表現的外在環境因子：

(一)攀附物刺激影響葉捲鬚的纏繞行為

當攀緣性的植物接觸到物體或機械性刺激時，由於生長差異而出現捲曲現象，通常接觸面生長較非接觸面慢，於是形成攀緣生長，常見的豌豆、胡瓜、南瓜、絲瓜、葡萄等的捲鬚為葉變形而來，或牽牛花的纏繞莖，都是捲曲環繞著接觸物體生長(楊純明, 2011)。

劉清文在實驗觀察中也發現支柱的有無並非纏繞性行為的唯一必要條件，即使在無支柱下，纏繞莖仍會表現出纏繞行為，而且其纏繞習性與對支柱的纏繞相同；支柱所在的位置是決定纏繞莖的幼莖是否纏繞的先決條件，左旋性纏繞莖面對其左側之支柱即進行逆時針方向之纏繞，但對其右側之支柱則不進行纏繞，纏繞自旋行為不會因為支柱的方向而改變(劉清水, 1997)。

我們試驗結果得知如果豌豆葉捲鬚的前端部位直接碰觸竿子，最快在 60 分鐘內即會出現「抓竿」開始纏繞，但是葉捲鬚如果未直接碰觸竿子在 24 小時出現纏繞的比例約不及 30%，當捲鬚在空中環繞自旋可能透過隨機碰觸竿子，有機會「抓竿」才進行纏繞，在實驗中我們推測葉捲鬚發生纏繞的過程，捲鬚前端部位是否有碰觸攀附物是發生纏繞的重要「感應」。劉耀先的研究指出四季豆幼莖的一側具有較發達的厚角組織，此種厚角組織的形成因幼苗的發育而逐漸明顯，據推測，植物幼苗一側厚角組織的形成，可能是決定攀附植物向觸纏繞左旋或右旋攀緣習性的主要因素(劉耀先, 1997)。

(二)光線刺激影響葉捲鬚的纏繞行為

Jaffe 的研究文獻指出光線對於攀附植物捲鬚的纏繞行為具有活化啟動的功能，在黑暗中發生機械感應而捲繞的次數少於在明亮的環境中，尤其若長時間在黑暗環境長達 2-3 天則對物體碰觸不會產生捲繞反應，直到照光又開始發生纏繞，表示在黑暗中會減少對機械式刺激感應而發生捲繞，光線活化的波長以藍光最為顯著(Jaffe, 1984)。我們的實驗中也顯示豌豆在沒有光線刺激情況中，葉捲鬚在空中環繞的幅度顯著小，也只有極低比例發生抓竿攀附的纏繞現象，而且纏繞的圈數少，和光照組相比纏繞比例有顯著差異。這似乎說明「光線」可以促使葉捲鬚在空中環繞以搜索攀附物，攀附過程中具有「啟動」效應，可能在向觸纏繞行為扮演關鍵角色。

為印證「光」在葉捲鬚向觸纏繞是關鍵要素，我們設計實驗使原本照光的豌豆在進入黑暗，葉捲鬚在黑暗初期仍表現環繞，但 12 小時之後環繞幅度明顯變小，如果捲鬚前端部位直接碰觸竿子，有 70% 以上比例會纏繞攀附物，但纏繞圈數少。但在黑暗下的豌豆進入光照後，葉捲鬚環繞的擺動幅度擴大，如果前端部位觸及竿子也開始發生纏繞。如同 Jaffe 在 Science 的報導指出豆科植物在照光環境中，葉捲鬚接觸物體時，它們會以螺旋狀快速捲曲，但是如果在黑暗中 3 天並無捲繞直到隨後被照光，才又有纏繞行為，這說明葉捲鬚在光照中比在黑暗下有更多纏繞表現，似乎暗示光譜的光效應增加了葉綠素介入纏繞機制的可能性(Jaffe, 1977)。

三、啟動豌豆葉捲鬚表現的內在的生理機轉：

向觸性牽涉許多不同的植物運動共同協調完成，可能包含向光性、向地性、向水性及向化性，也與膨壓改變及植物荷爾蒙的作用有關，內在機制雖不明朗，但有報導指出生長激素物質如 GA、CCC 等參與攀援生長過程中的旋轉和延伸，使葉捲鬚一圈圈地進行纏繞表現(劉耀先, 1997；Jaffe, 1966)。我們的實驗結果說明葉捲鬚在向觸纏繞過程中，當葉子被剪除則纏繞表現消失，而且葉子以鋁箔進行遮光時，葉捲鬚的環繞擺動幅度小，甚至碰觸竿子進行抓竿後無法「束緊」而脫離竿子，葉子似乎在纏繞機轉中扮演著「動力(啟動)」重要角色，我們猜測是否葉子會產生「關鍵物質」以促使捲鬚纏繞。

有大量證據表示 ATP(三磷酸腺甘)在捲曲中有著主要作用，ATP 抑制劑則會減少纏繞的產生；外源性的 ATP 加入則會顯著增加黑暗中捲鬚的纏繞，而 ADP 和 AMP 則無任何作用，此研究推斷 ATP 在葉捲鬚在捲曲過程為能量來源，尤其在初期開始纏住階段(Jaffe, 1966)。綜合我們實

驗結果得知「葉片的存在」和「光線的刺激」是葉捲鬚「啟動」纏繞重要機轉，我們推測豌豆在長期黑暗下，可能因為「光合產物」降低，無法產生充足「ATP」能量以驅動捲鬚環繞，降低了葉捲鬚向觸纏繞表現；但短暫黑暗中，葉捲鬚在ATP尚未缺乏下，若直接碰觸竿子會有纏繞表現，但受限ATP產量導致纏繞圈數顯著減少，也影響了纏繞的速度。

四、攀援生長的生物意義和未來展望

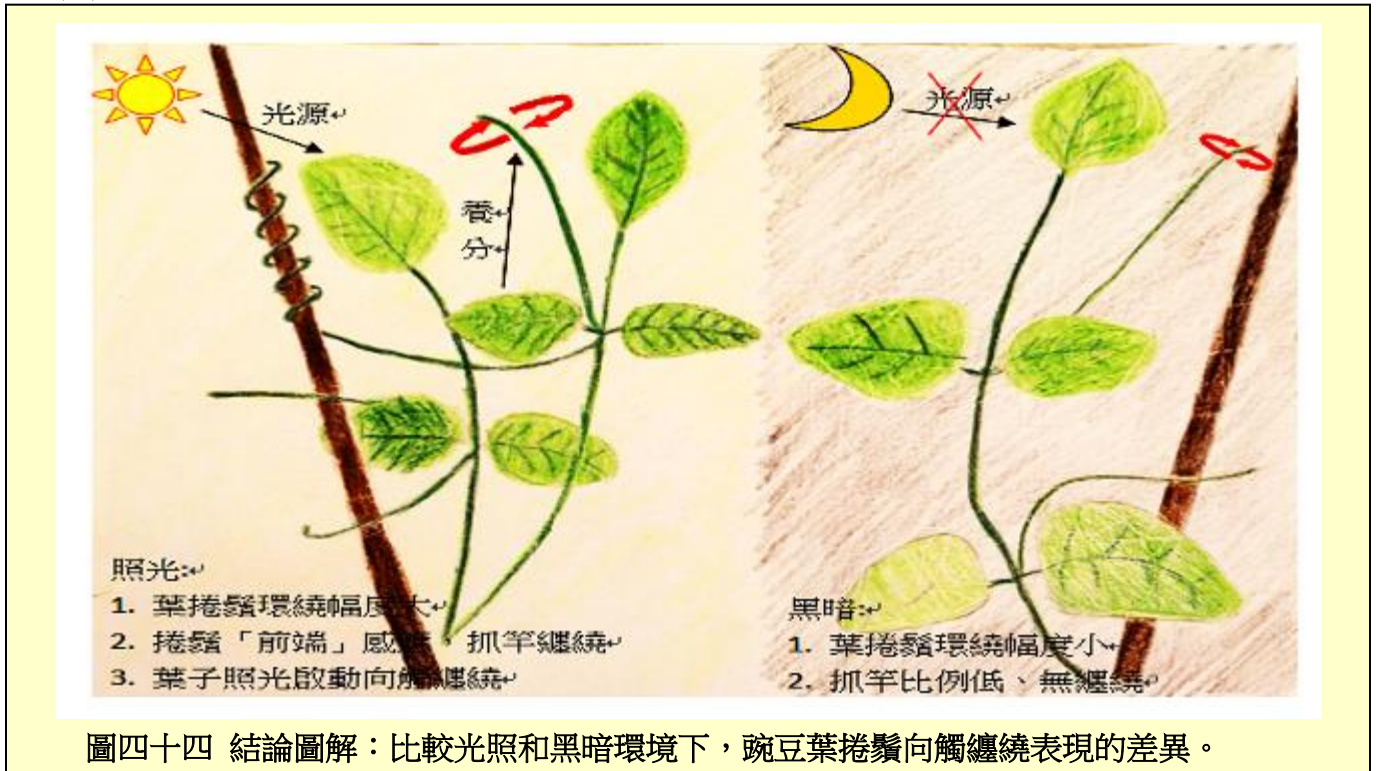
植物演化出各種向性來配合生態環境，可說是植物賴以生存於變化多端環境的一個重要手段，藉由環境的刺激產生向性運動，來感應資源甚至接近、獲取資源。透過向觸性來支撐植物體，擴張莖葉範圍，佔據吸收光能的最有利位置，來調節生長姿態或方向，使其在生存競爭上更具有優勢。

植物藉著向觸性，除了支撐植體，也可擴大接觸自然資源的機會利於自身的生長。在農業上可充分利用這些攀援草本植物快速生長的特性，抓住土壤、枝條、牆面等憑藉物大量的繁殖，若使用在裸露地、草地、坡地、果園、菜園等覆蓋用途，可以發揮水土保持、景觀美化、涵養水源、農作生產等不同功用(楊純明, 2011)。近年來氣候的快速變遷帶來頻繁發生的災害，也增強了逆境的強度與範圍，植物的向性運動似乎是個趨吉避凶的生態行為和具有特異功能的生存之道，我們經由觀察植物的向性行為，進一步理解植物的生存策略，「先具備自身的生存能力，再順著環境的彈性空間，最後發展出物競天擇的因應調適對策」(楊純明, 2011)。

我們希望未來深入分子生物學與模型系統的結合將有助於明白植物向性表現的複雜性。光和接觸力以複雜的方式相互作用，以引導植物體纏繞生長發育，可能和光合作用感光系統的基因有關，在植物中可能共享這些基因元素，期望未來的研究進一步確定光與向觸表現之間可能的關係是植物葉捲鬚纏繞發育，生長和外觀的主要信號。

柒、結論

1. 豌豆葉捲鬚會自發性以順時鐘或逆時鐘方向環繞「搜索」，似乎尋找支柱，即使沒有接觸竿子，捲鬚末端也會出現左旋或右旋的一圈一圈的自旋環繞。
2. 豌豆葉捲鬚的前端部位接觸竿子，捲鬚會「抓竿」然後「束緊」支柱進行一圈圈纏繞生長，但葉捲鬚的中間、後端部位或葉片碰觸竿子，並未發生纏繞支柱；同時在黑暗中超過四十八小時，葉捲鬚前端纏繞竿子的比例也顯著降低。
3. 豌豆的葉片被遮住光線會顯著影響葉捲鬚的向觸纏繞行為，推測葉片照射光線會「啟動」葉捲鬚發生纏繞，而捲鬚前端部位具有「感應」攀附物能力，兩者交互調控葉捲鬚向觸纏繞的表現。



捌、參考文獻：

- 一、劉清水、劉耀先(1997)。攀緣性植物纏繞莖纏繞方向之研究。中學教育學報 6:333-351。
- 二、楊純明、李旭瑤(2011)。植物的向性及其在農業上的可能利用。農業試驗技術 88: 35-37。
- 三、楊勝任(2013)。台灣146種藤本植物攀爬類型。林業研究專訊 20(4): 54-58。
- 四、Guerra,S., A.Peressotti, F. Peressotti, M. Bulgheroni, W.Baccinelli, E. D`Amico, A. G`omez, S.Massaccesi, F.Ceccarini, U. Castiello.(2019). **Flexible control of movement in plants.** Scientific Reports(Nature research),9:16570.
- 五、Jaffe, M. J. and A.W. Galston(1966). **Physiological Studies on Pea Tendrils— Growth and Coiling Following Mechanical Stimulation.** Plant Physiology, 41:1014-1025.

附錄

表一 豌豆葉捲鬚觸竿與否和纏繞行為有關的交叉分析摘要表

研究變項	觸碰竿子	未碰觸竿	X ²	p-value
纏繞	15 (≡75%)	4 (≡22%)	11.35	.001**
無纏繞	5 (≡25%)	15 (≡78%)		
T 值	2.517	3.012		
顯著性(雙尾)	0.021*	0.007**		

(註：纏繞和無纏繞兩者比例變異量以單一標本T檢定進行統計量分析，檢定值以總個數/2作為檢定值；碰觸竿子與否和有無纏繞現象兩者關係以pearson卡方檢定進行統計量分析。*p<.05，**p<.01)

表二 豌豆葉捲鬚和竿不同距離的纏繞關係之交叉分析摘要表

研究變項	碰觸竿子	距竿1公分	距竿2公分	距竿3公分	X ²	p-value
纏繞	15 (≡75%)	4 (≡24%)	2 (≡12%)	1 (5.5%)	27.780	.000**
無纏繞	5 (≡25%)	13 (≡76%)	15 (≡88%)	18 (94%)		
T 值	2.517	2.469	4.747	8.512		
顯著性(雙尾)	.021*	.024*	.000**	.000**		

(註：纏繞和無纏繞兩者比例變異量以單一標本T檢定進行統計量分析，檢定值以總個數/2作為檢定值；碰觸竿子不同距離和有無纏繞現象兩者關係以pearson卡方檢定進行統計量分析。*p<.05，**p<.01)

表三 豌豆葉捲鬚不同部位觸竿和纏繞關係的交叉分析摘要表

研究變項	碰觸前端	碰觸中端	碰觸後端	碰觸葉片	X ²	p-value
纏繞	19(≡90%)	1 (≡ 6%)	1 (≡6%)	2 (≡13%)	38.765	.000**
無纏繞	2 (≡10%)	16 (≡94%)	15 (≡94%)	14 (≡87%)		
T 值	6.167	4.856	4.747	4.329		
顯著性(雙尾)	.000*	.000**	.000**	.001**		

(註：纏繞和無纏繞兩者變異量以單一標本T檢定進行統計量分析，以總個數÷2=10作為檢定值；碰觸竿子不同部位和有無纏繞現象兩者關係以pearson卡方檢定進行統計量分析，**p<.01。)

表四 在側光環境中，豌豆葉捲鬚纏繞與否和竿子位置的交叉分析摘要表

研究變項 纏繞	側光源和竿子同向	側光源和竿子異向	X ²	p-value
	觸竿	17/19 (89%)		
未觸竿	4/19 (21%)	1/19 (5%)		
T 值	1.897			
顯著性(雙尾)	.000**			

(註：和竿同向和異向的纏繞比例以獨立樣本 T 檢定分析；碰觸竿子與否和光源方向與有無纏繞現象兩者關係以 pearson 卡方檢定進行統計量分析。)

表五 在黑暗條件下，豌豆葉捲鬚纏繞與否的交叉分析摘要表

研究變項	long-term 黑暗	pre-dark黑暗 → 照光	Pre-light光 → 黑暗	long-term 光照	X ²	p-value
	觸竿	1/15 (6%)	5/15 (33%)	4/15 (27%)		
未觸竿	0/15 (0%)	1/15 (6%)	0/15 (0%)	2/15 (13%)		
顯著性	1/30	6/30	4/30	14/30	p = .002**	

(註：不同黑暗條件的纏繞差異以ANOVA檢定分析，和觸竿與否兩者的關聯以卡方檢定進行統計量分析。)

表六 在缺少葉片與葉捲鬚條件下，豌豆葉捲鬚纏繞與否的交叉分析摘要表

研究變項	未處理(對照)	剪除捲鬚	遮蔽捲鬚	剪除葉子	遮蔽葉子	剪除頂芽
纏繞比例	82%(16/19)	0%(0/19)	66%(13/19)	5%(1/19)	5%(1/19)	82%(16/19)
T 值		-17.191	-2.494	-15.240	-14.837	-0.467
顯著性(雙尾)		.000*	.017*	.000*	.000*	0.743

(註：以ANOVA統計分析，各組和未處理對照組兩者變異量相比較。)

【評語】 030317

外部環境影響豌豆向觸性的觀察詳實，且利用自製觀察箱與縮時攝影進行實驗，是很不錯的實驗設計。此外，研究的架構清楚，適切地引述前人的文獻資料，實驗設計與結果論述合乎邏輯，並有系統地收集數據及適當地應用統計方法分析，研究過程值得鼓勵。

建議如下：

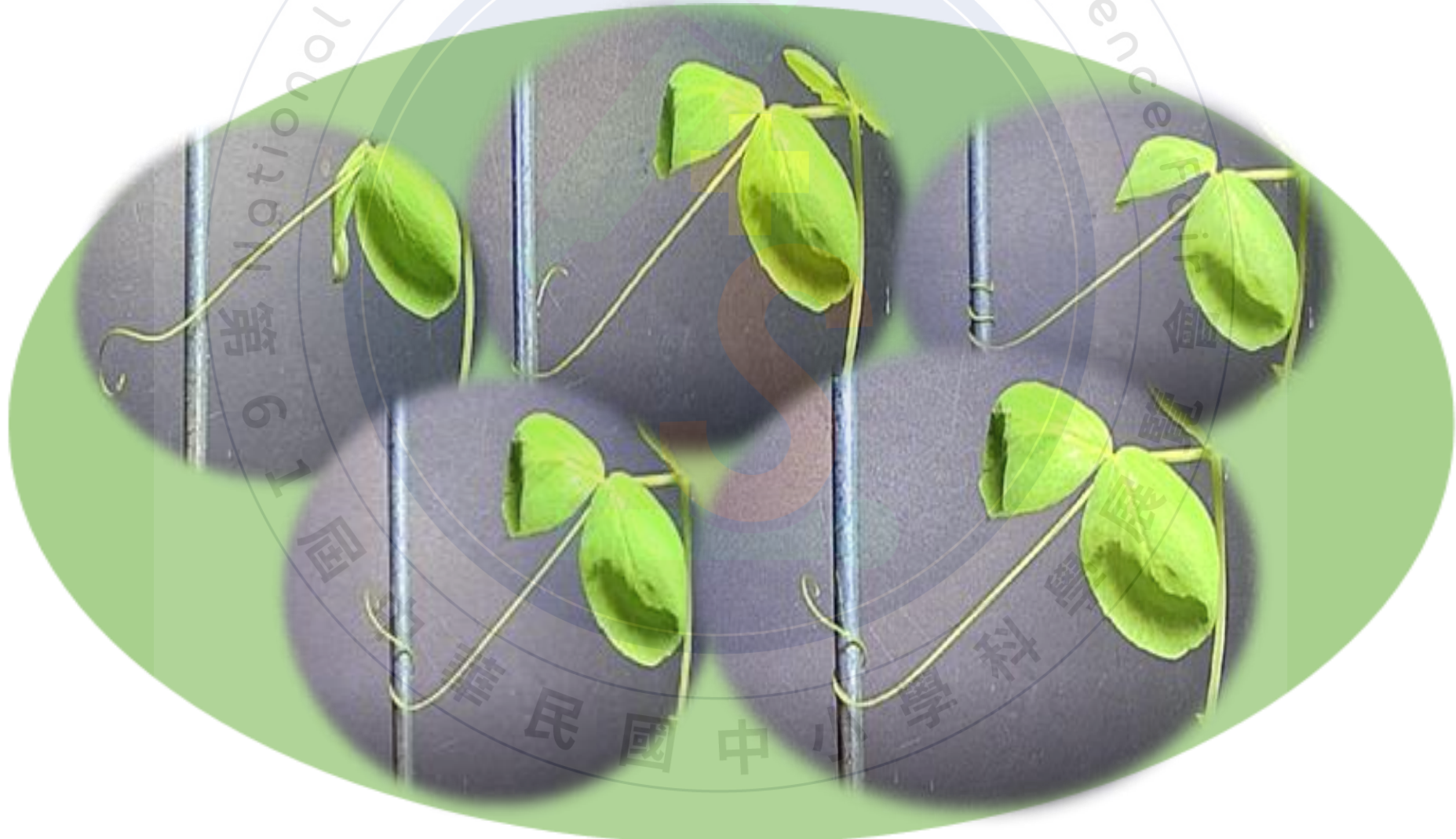
1. 外部因子討論較多，較缺內部生理因素的改變的佐證（植物激素、生長調控等），在結論的論述上證據相對薄弱一些。
2. 對於前述莖捲鬚都屬於左旋繞，葉捲鬚都屬於右旋繞，可提供更多樣本及實驗印證。
3. 其他葉捲鬚植物向觸性纏繞行為的調控與豌豆是否相同，可再討論。
4. 豌豆葉捲鬚的前端部位具有感應能力，在光罩下可展現向觸性，顯示出光線可能誘發植物產生捲繞行為的反應，可進一步研究細胞、組織層次或植物激素，釐清此前端物之存在。
5. 照片應該標示比例尺，才知道實際大小為何。

6. 可加入纏繞表現對於其生存策略之解釋，並進一步探討捲鬚的生理意義會更好。

作品簡報

「葉」！無所不捲

探究豌豆葉捲鬚纏繞的向性表現



動機、目的

- 我們以具有「葉捲鬚」的豌豆為實驗對象，探討豌豆的「纏繞」行為和「接觸」物體、「光源」等刺激因子的彼此相關性，尋找出植物纏繞反應機制！



莖捲鬚



葉捲鬚

豌豆「葉捲鬚」纏繞的機制和存在的生物意義？

向觸性

向光性

哪些因子會影響豌豆的葉捲鬚行為？

接觸物

光源

豌豆本身

比較捲鬚纏繞狀態的差異

葉片是否也具有向觸性行為？

捲鬚是否也具有向光性行為？

歸納豌豆葉捲鬚的向觸性行為和葉片向光性之間交互影響的機轉

豌豆葉捲鬚有環繞探頭的自旋現象

Fig.1

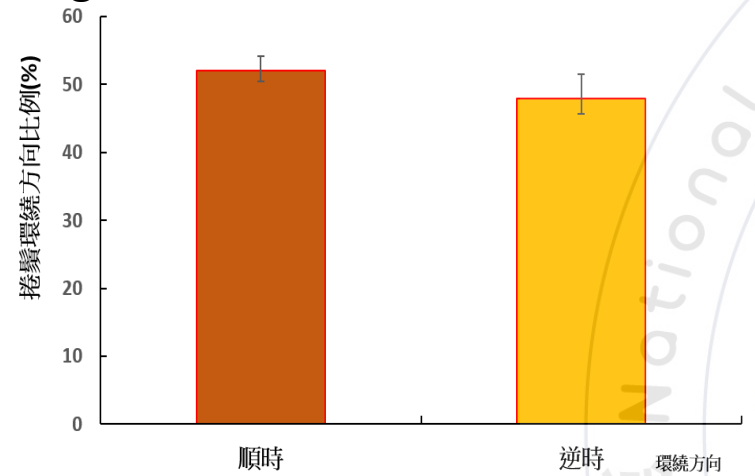
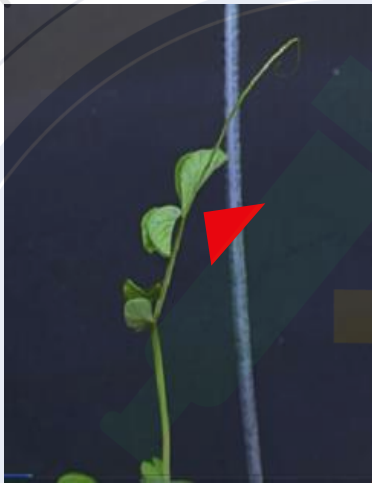


Fig.2



Fig.3 30 min



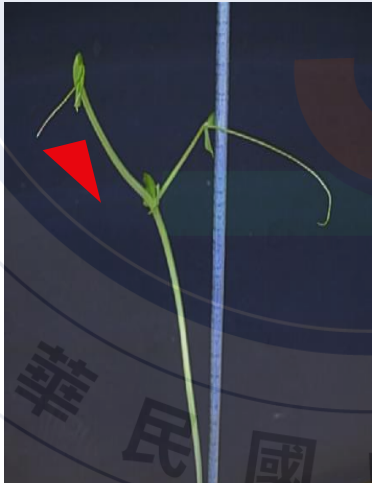
90min



180min



Fig.4 30 min



90min

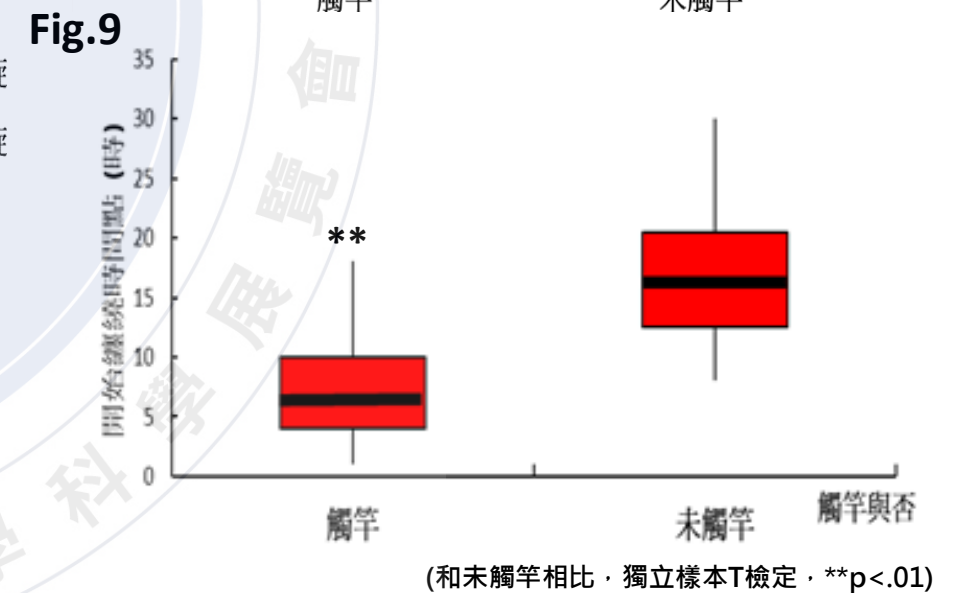
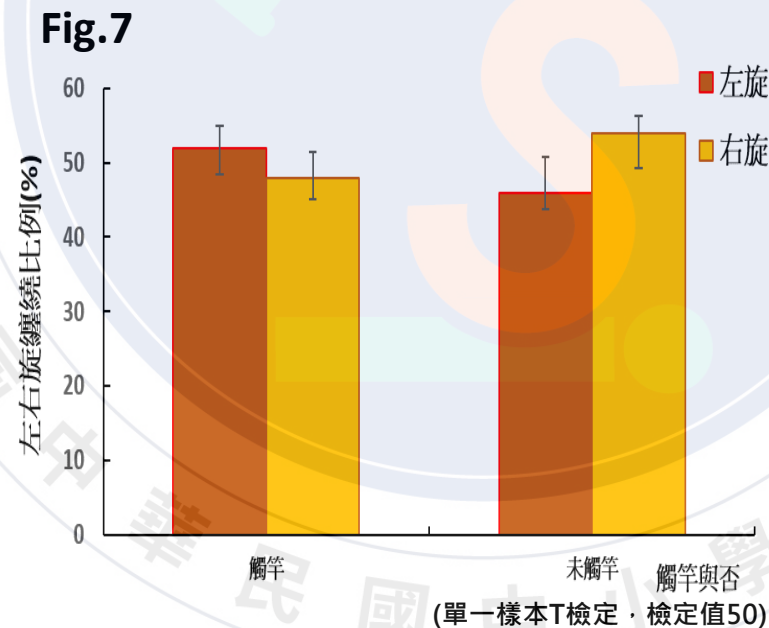
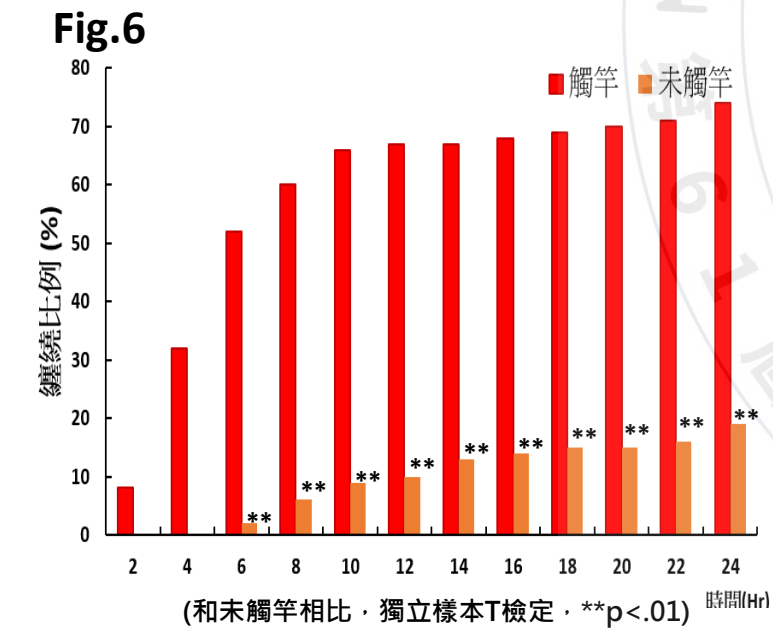
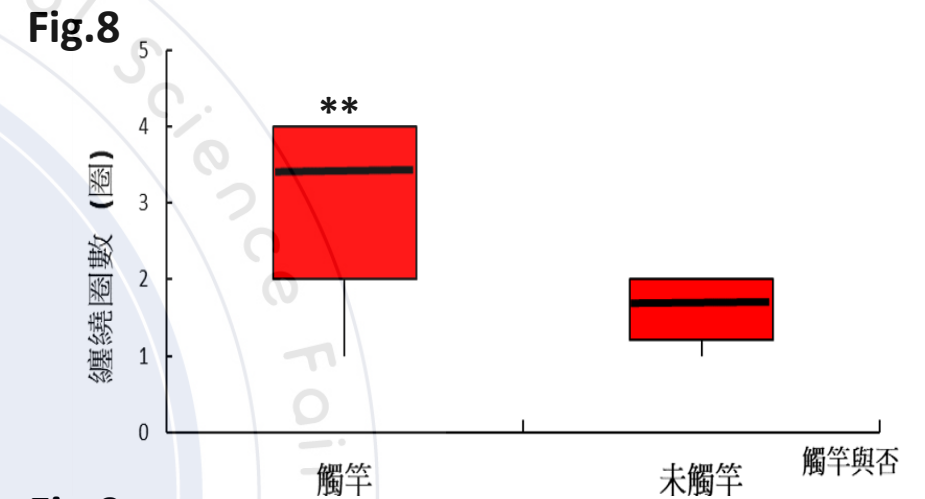


180min



✓ 捲鬚會攀附在竿子上嗎?

豌豆葉捲鬚會攀附竿子表現向觸性纏繞



✓ 有趣的是，葉捲鬚在碰觸竿子的纏繞比例大約70-80%，為什麼並非所有葉捲鬚碰觸竿子都會發生纏繞呢？

捲鬚和竿距離愈近愈容易發生纏繞

Fig.10

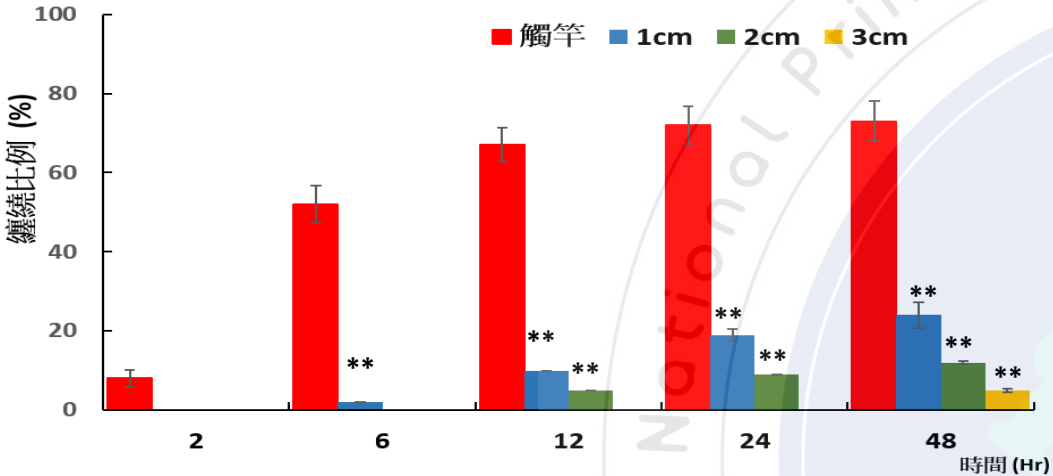
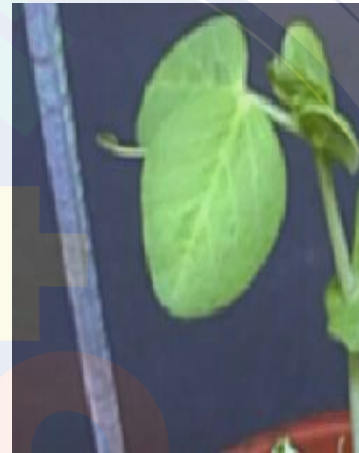


Fig.12 0hr

距竿
1公分



8hr



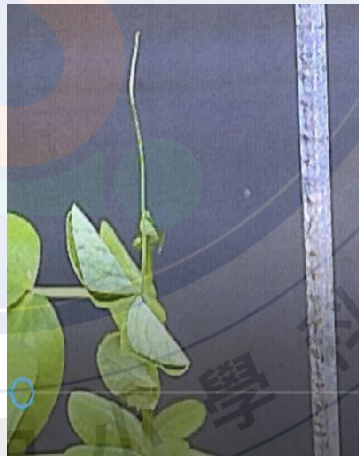
24hr



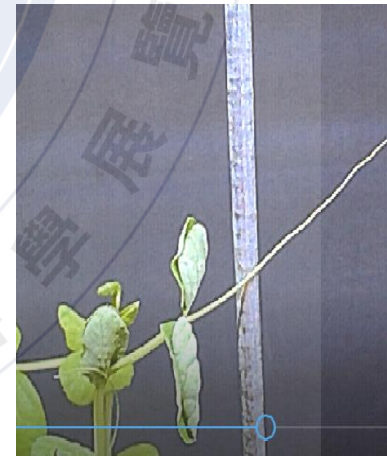
纏繞

Fig.13 0hr

距竿
3公分



8hr



24hr

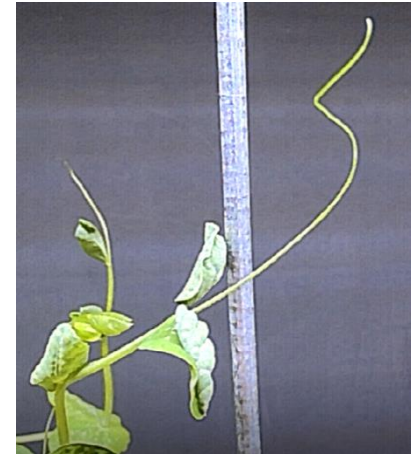
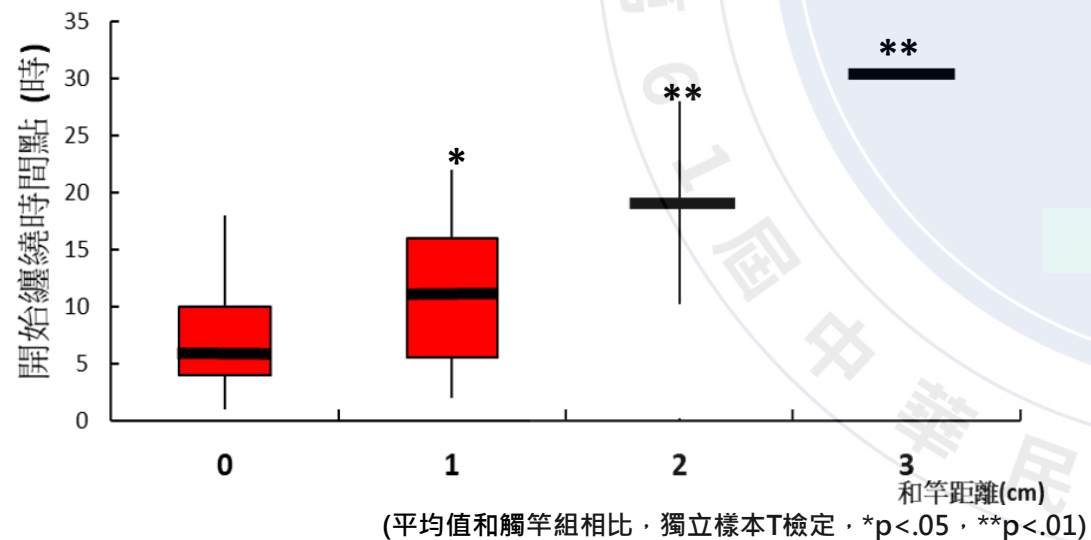


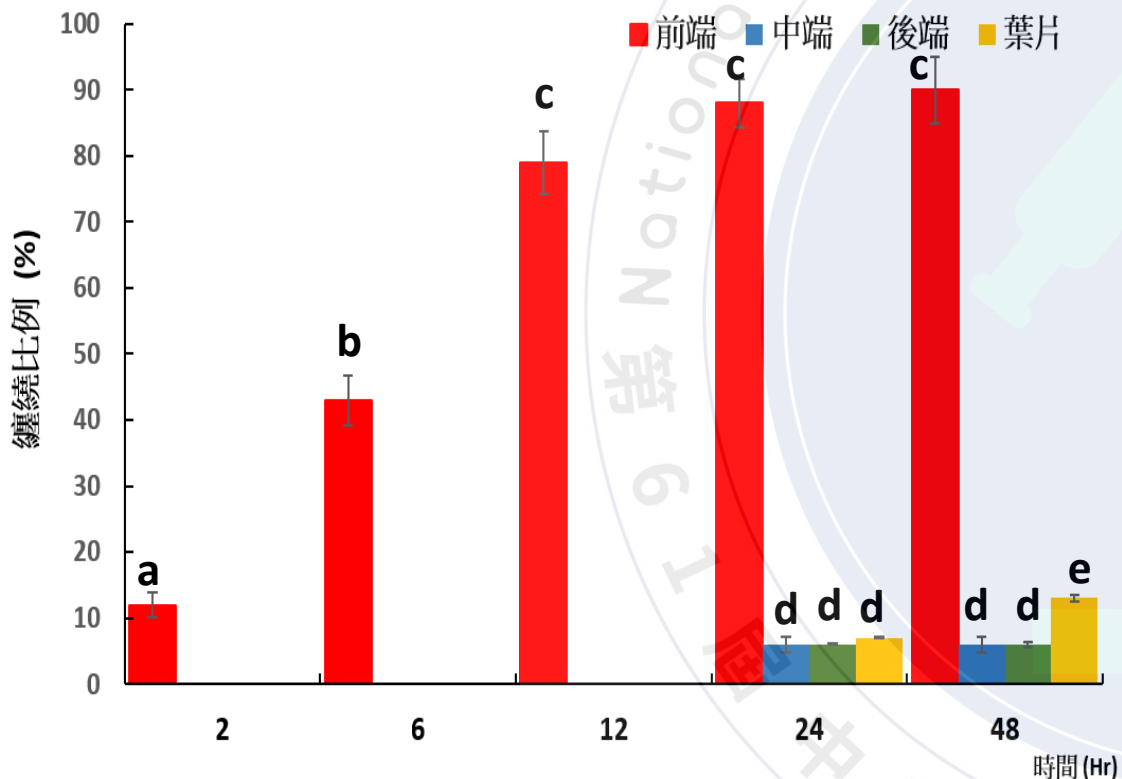
Fig.11



✓ 但葉捲鬚在直接碰觸竿子時，纏繞比例大約70~80%，這是否與葉捲鬚碰觸位置有關聯呢？

捲鬚前端部位觸竿纏繞比例最高

Fig.14



(T檢定分析, 相同字母 $p > .05$, 不同字母 $p < .05$)

Fig.15

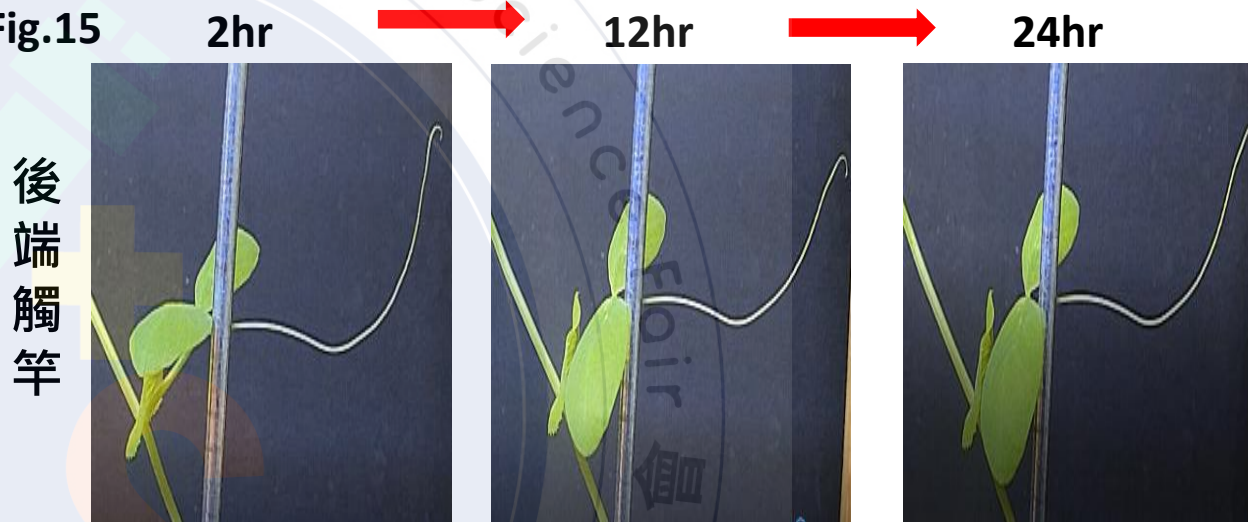
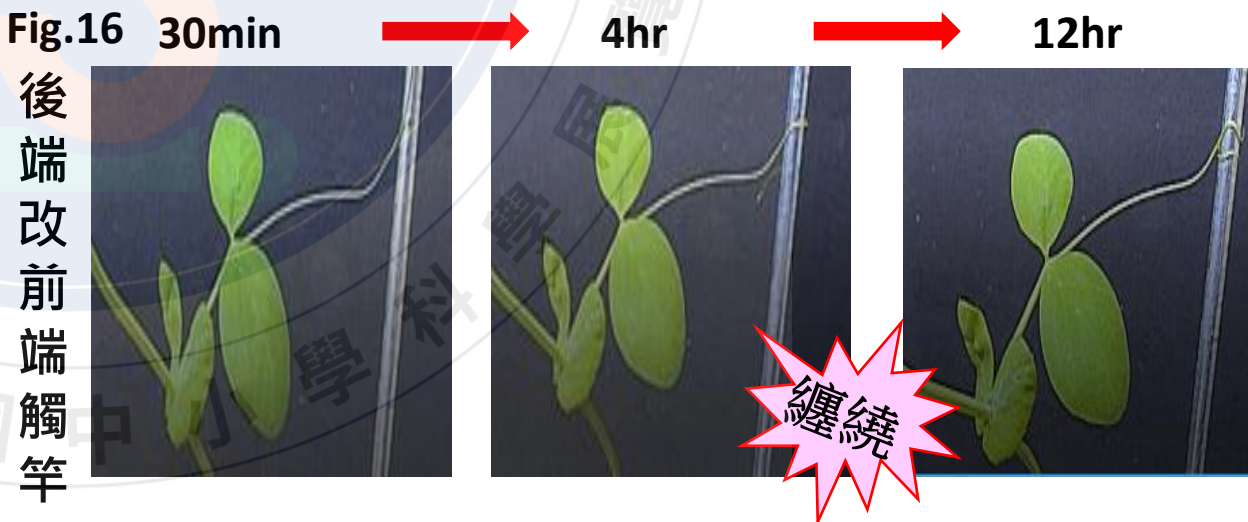


Fig.16



✓ 前端觸竿的感應機制是否會受到光源的影響?

光源會影響捲鬚向觸纏繞表現

Fig.17

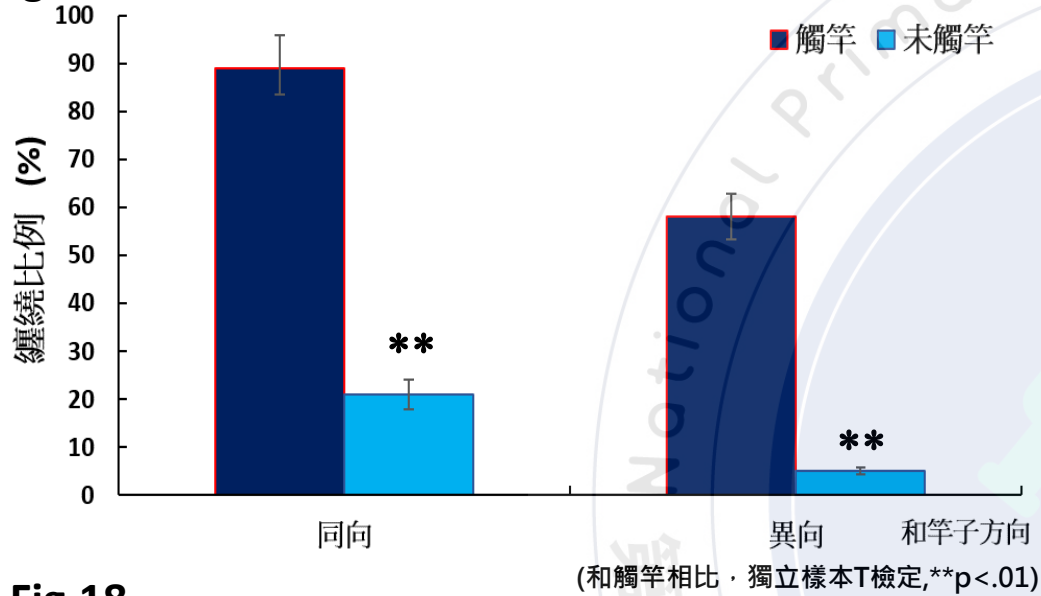


Fig.18

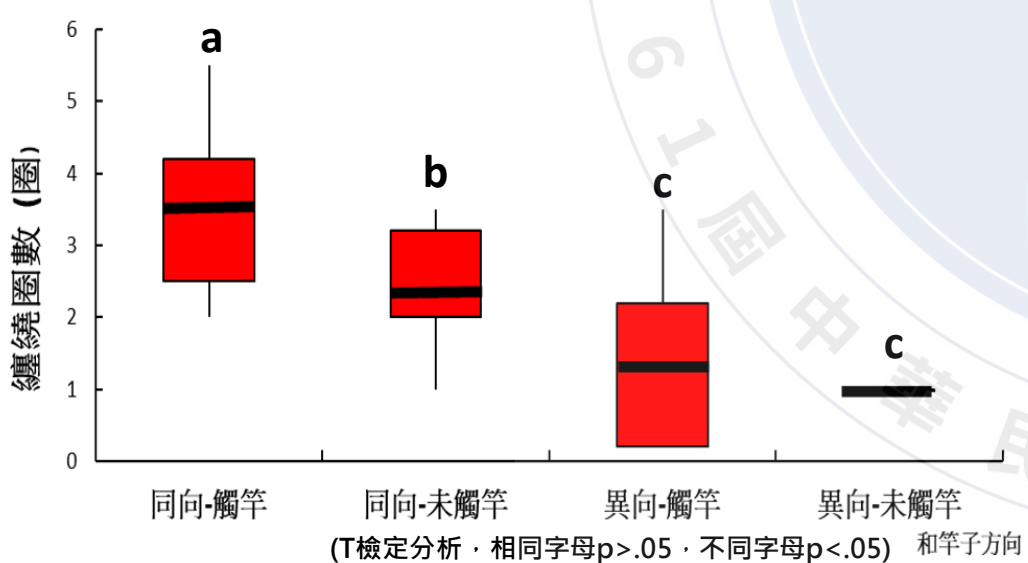
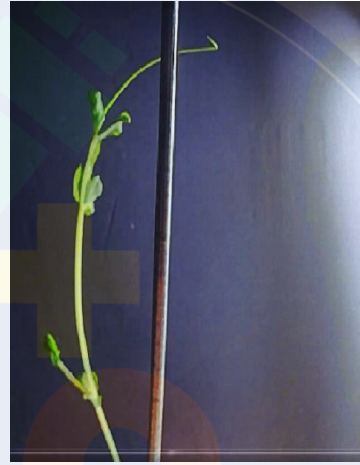
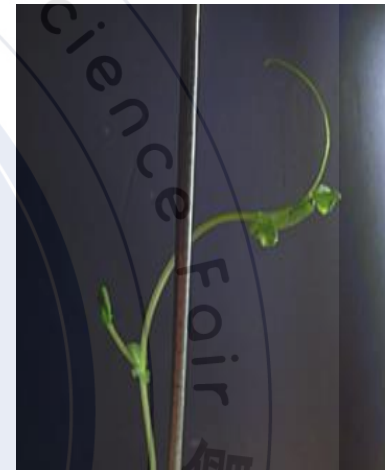


Fig.19 0hr

同向未觸竿



12hr



24hr



Fig.20 0hr

異向觸竿



12hr



24hr



纏繞

✓ 光線究竟是何角色呢?在黑暗環境下對捲鬚纏繞又有何影響?

完全黑暗降低捲鬚環繞和纏繞表現

Fig.21

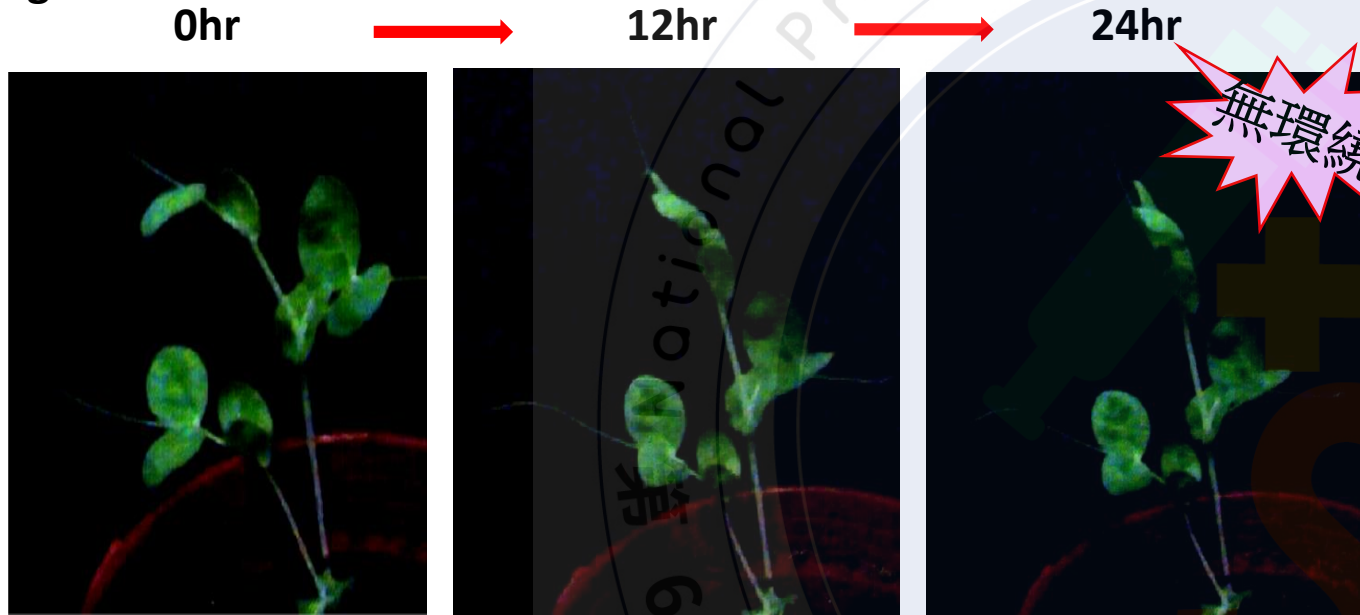


Fig.22

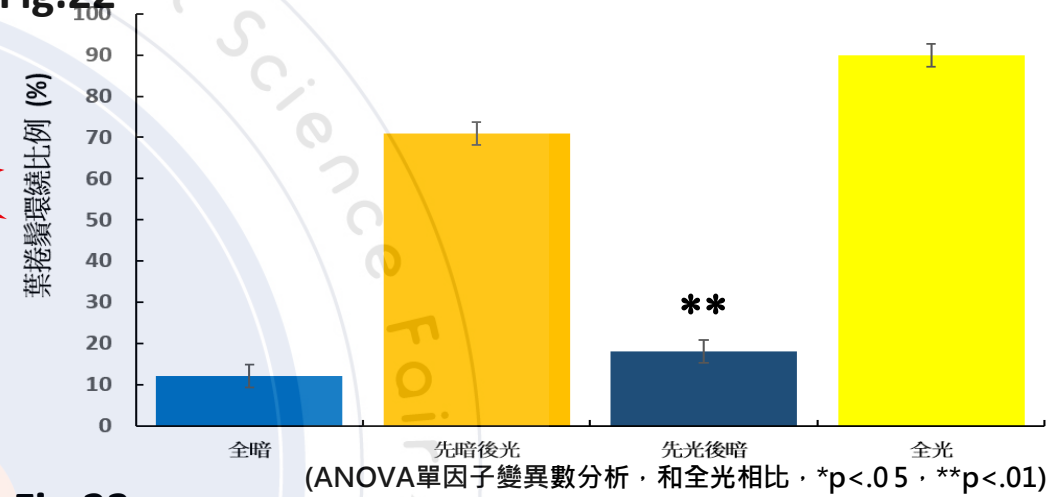
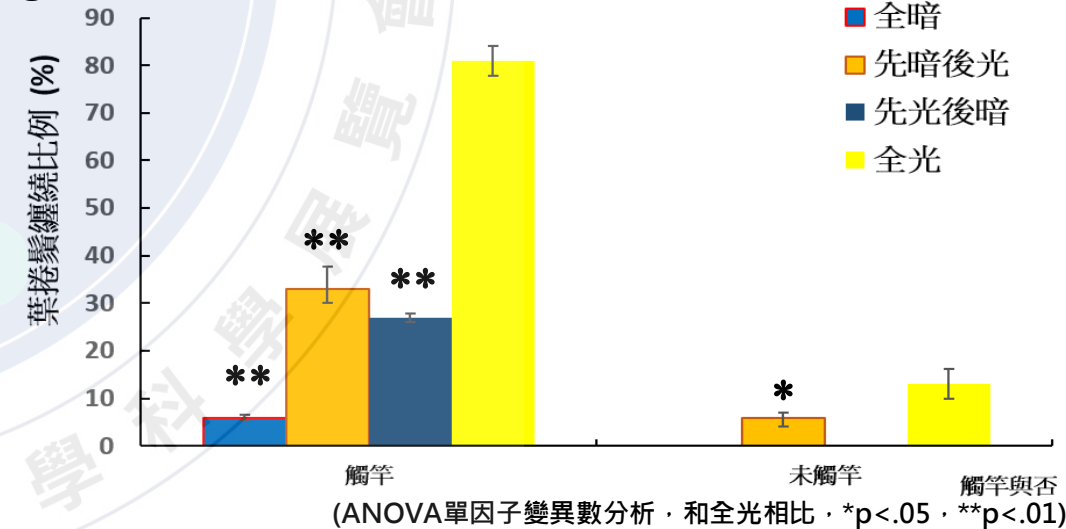


Fig.23



全黑暗	24Hr	48Hr
(A) 先黑暗	24Hr	後照光 48Hr
(B) 先照光	24Hr	後黑暗 48Hr

✓ 在黑暗環境，捲鬚不會纏繞，那如果改變黑暗和照光的時間和先後順序呢？

光線提高葉捲鬚纏繞能力表現

Fig.24

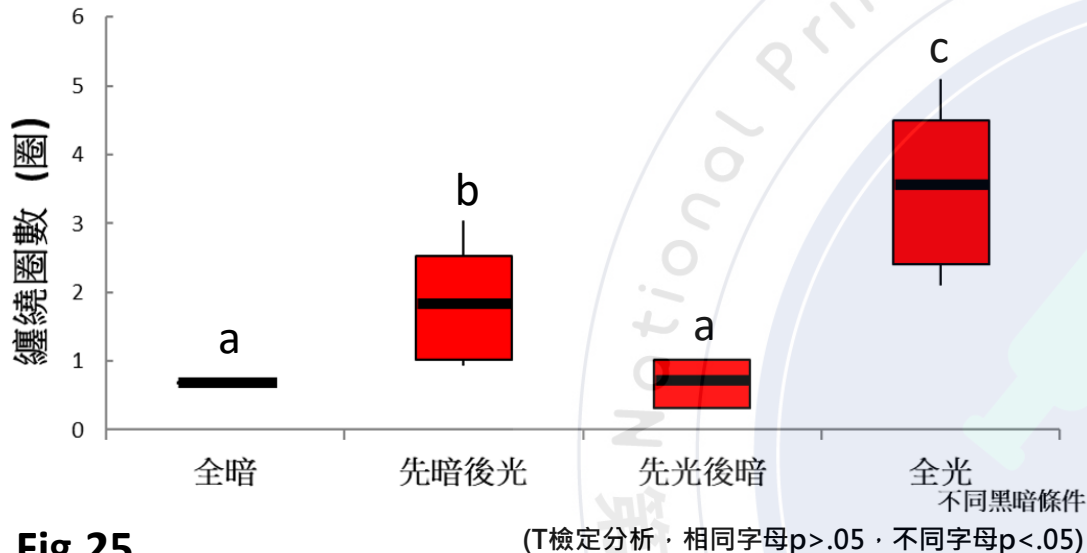


Fig.26

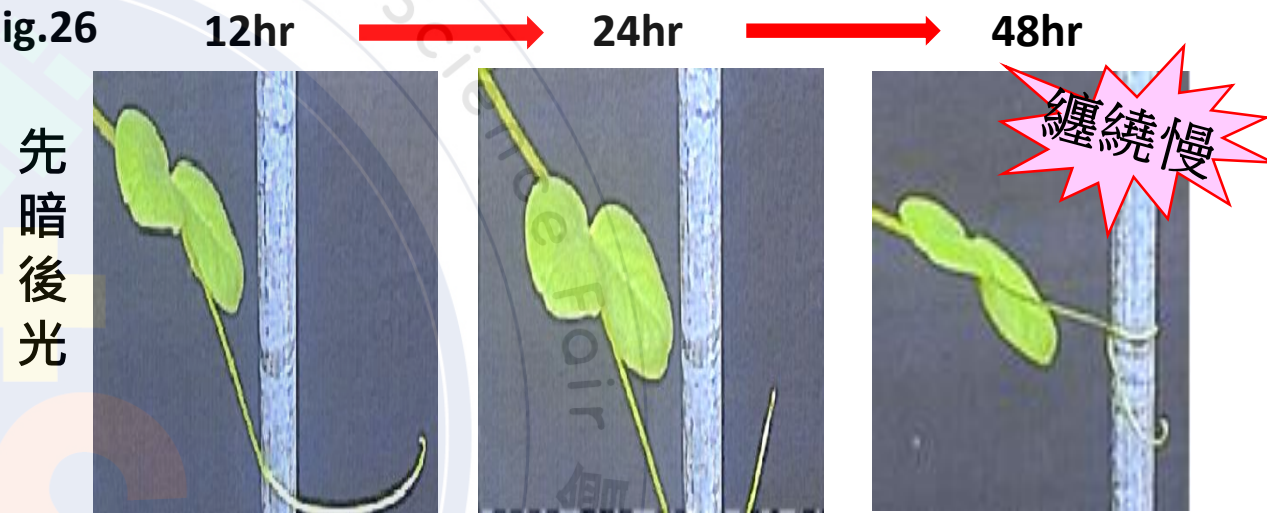


Fig.25

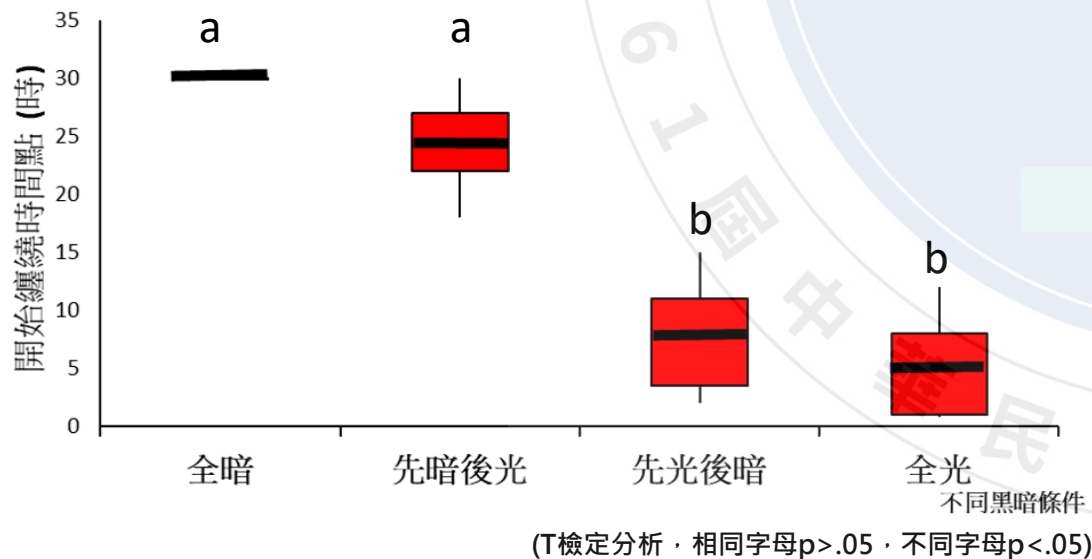


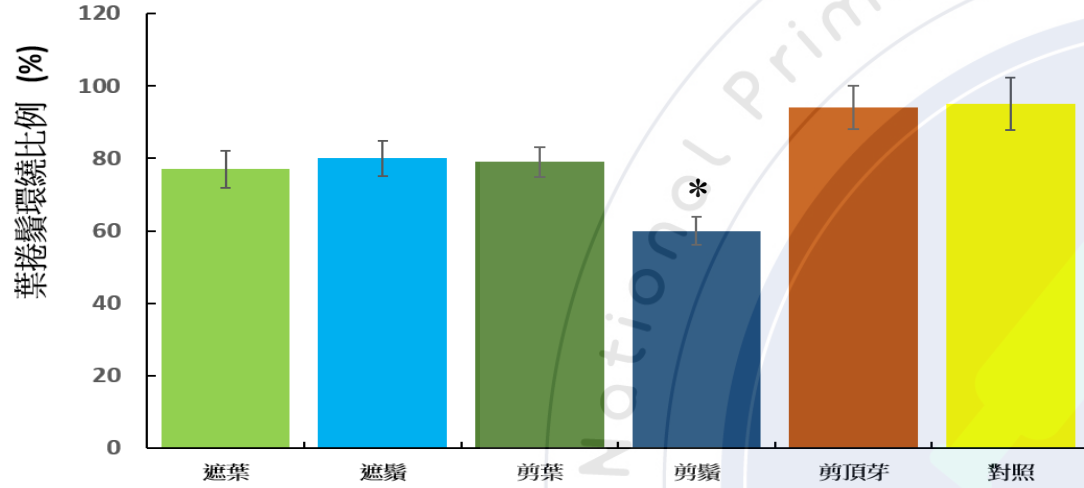
Fig.27



✓ 捲鬚纏繞的機轉到底是什麼呢?

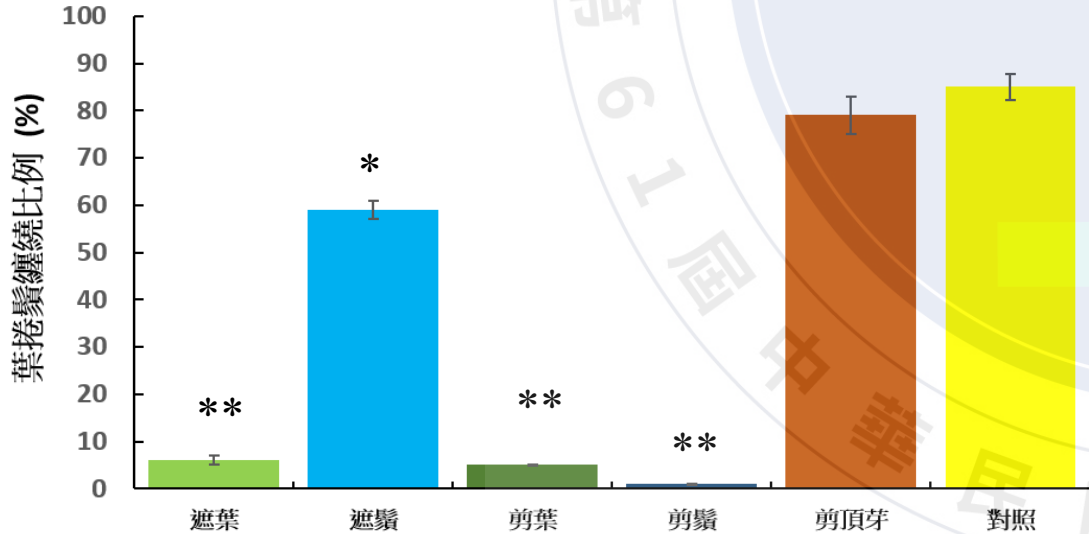
葉子照光促使捲鬚向觸纏繞

Fig.28



(各組和對照組相比 AVOVA 統計分析, * p<.05, ** p<.01)

Fig.29



(各組和對照組相比 AVOVA 統計分析, * p<.05, ** p<.01)

Fig.30

遮葉片

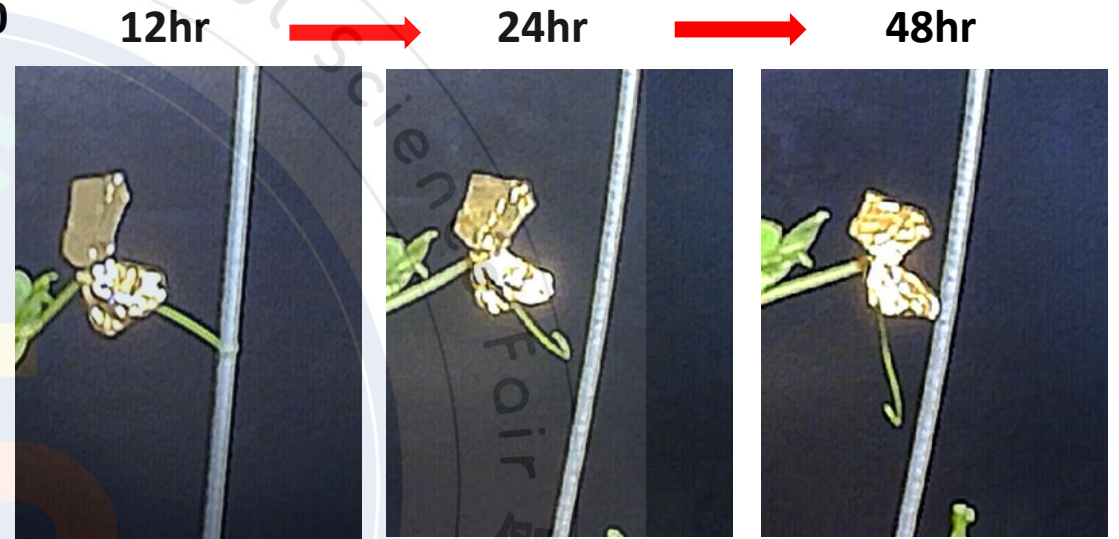
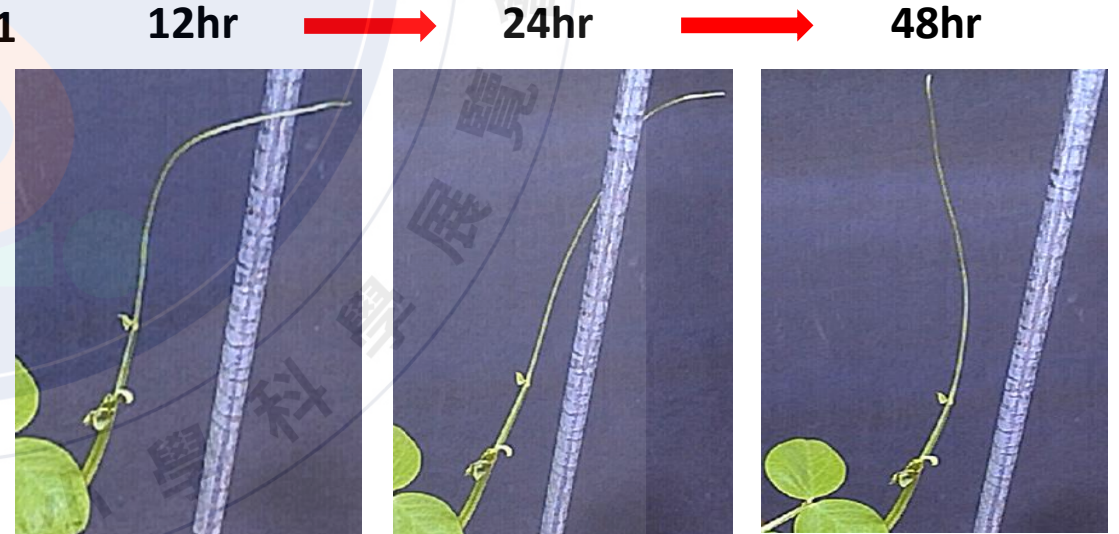


Fig.31

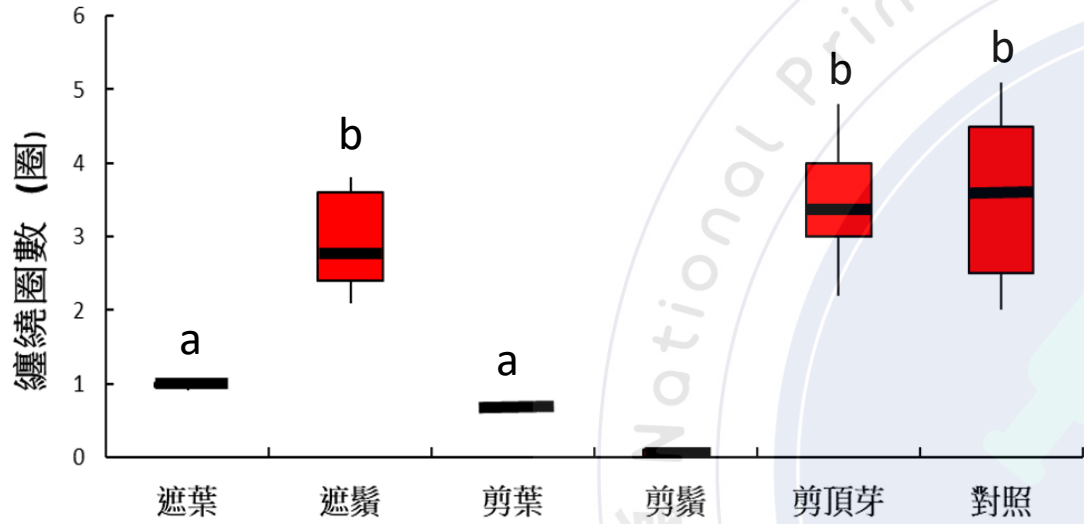
剪葉片



✓ 如果捲鬚被處理後，纏繞會有什麼變化？

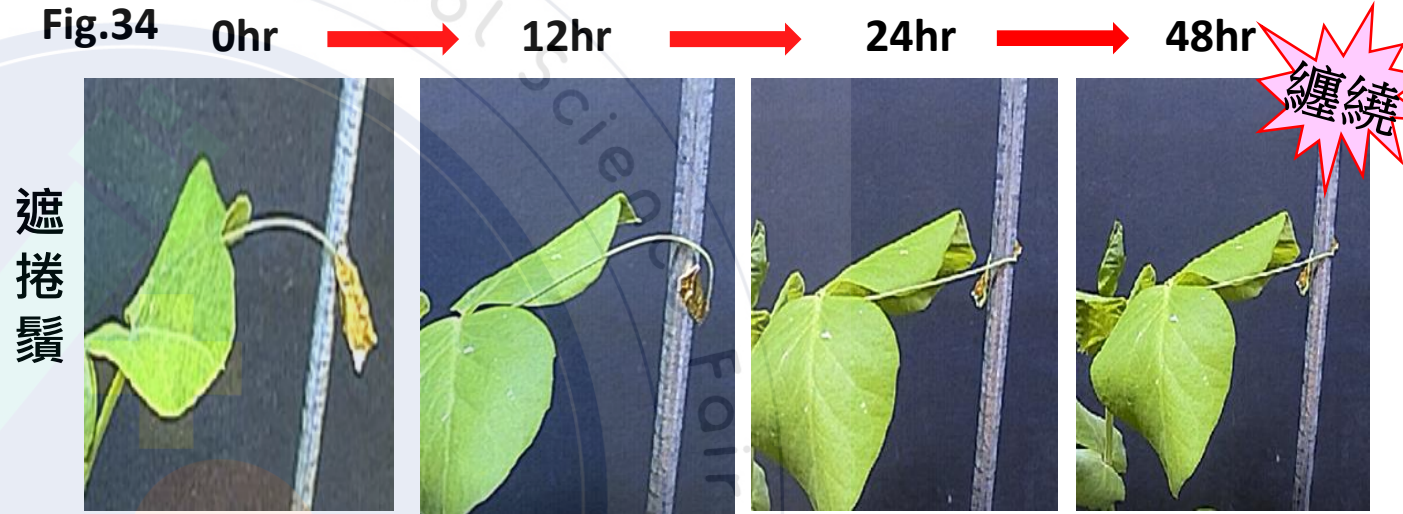
葉子照光促使捲鬚向觸纏繞

Fig.32



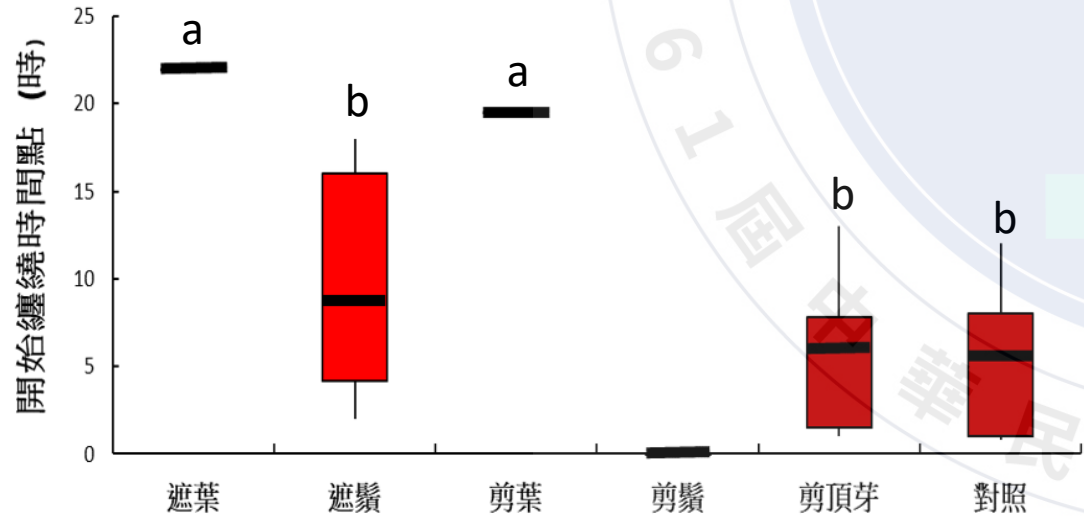
(T檢定分析, 相同字母 $p > .05$, 不同字母 $p < .05$)

Fig.34



遮捲鬚

Fig.33



(T檢定分析, 相同字母 $p > .05$, 不同字母 $p < .05$)

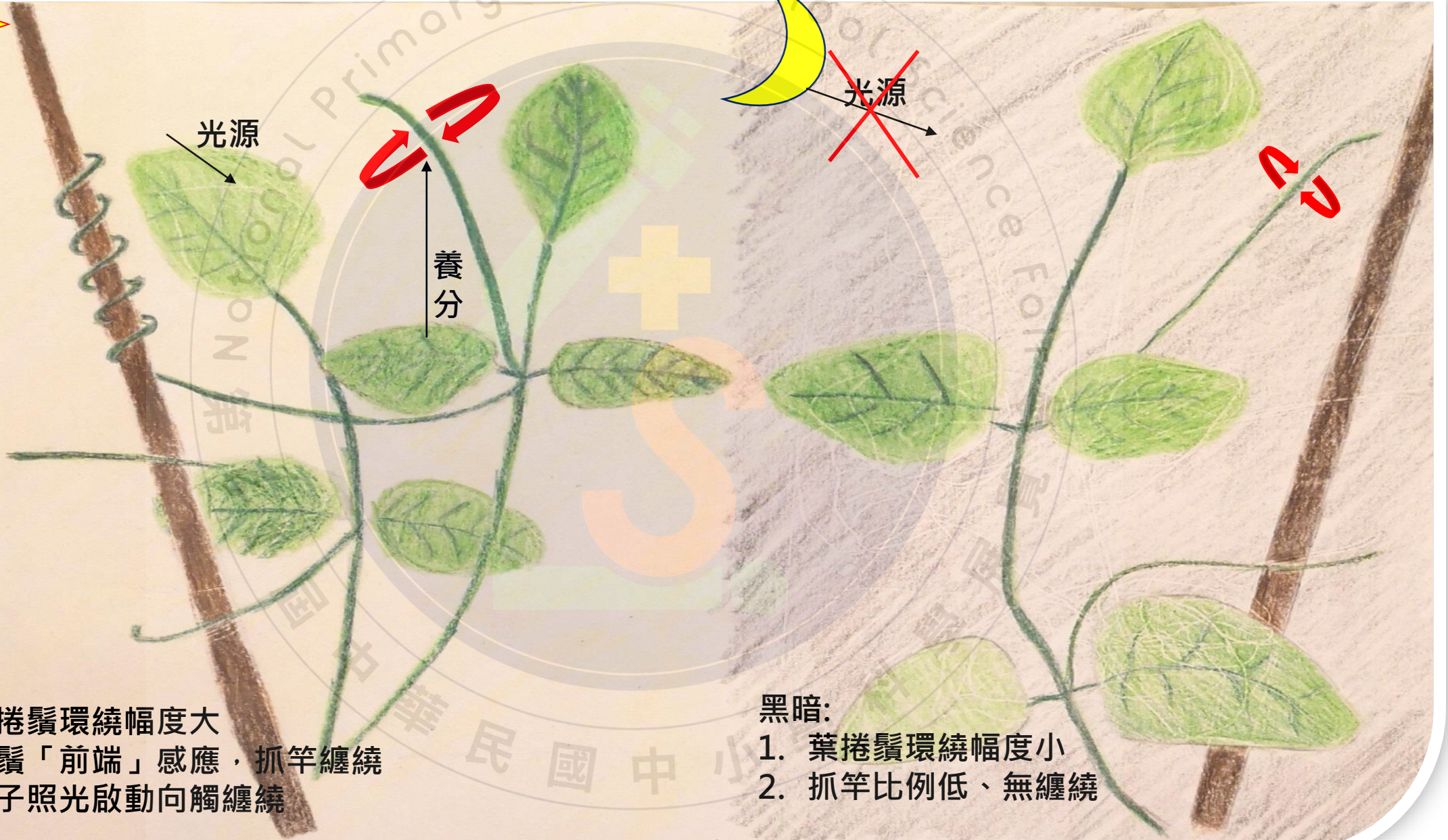
Fig.35



剪捲鬚

✓ 所以.....結論是.....?

結論



照光:

1. 葉捲鬚環繞幅度大
2. 捲鬚「前端」感應，抓竿纏繞
3. 葉子照光啟動向觸纏繞

黑暗:

1. 葉捲鬚環繞幅度小
2. 抓竿比例低、無纏繞