

中華民國第四十三屆中小學科學展覽會參展作品專輯

國中組

生物科

科別：生物科

組別：國中組

作品名稱：一網情深—網住基隆情人湖人面蜘蛛的一生

關鍵詞：人面蜘蛛、捕獵機制、生長觀察

編號：030309

學校名稱：

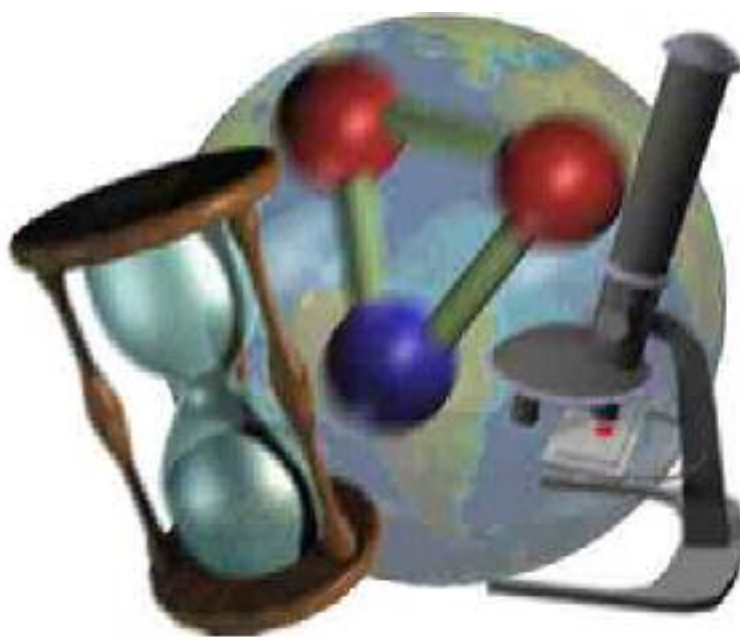
基隆市立中正國民中學

作者姓名：

趙依祈

指導老師：

王世宏、陳明瑜



摘要

本研究首先藉由長期飼養觀察，認識人面蜘蛛的外部型態，其次認識到蛛絲、網及輔助網的結構，結網過程，另外體色及背部黃條紋的變化、蛻皮過程、生活史及野外各月生長變化，均詳細觀察予以紀錄暨綜合整理。用以後續研究的基礎，並強化對蜘蛛的一般認識。

其次本研究對於蜘蛛的各種感覺器官比較結果，人面蜘蛛的觸覺（即腳勾感知振動能力）最強，聽力不甚靈敏

另外簡單的機械振動觸網，能引起人面蜘蛛的捕獵行為，對於不同振幅的振動，會有不同的反應，尤以振幅太大會驚嚇蜘蛛；不同頻率的機械式振動，發現 1 赫的振動，引不起蜘蛛的興趣，隨著頻率加高，蜘蛛反應有越來越強的趨勢。

本實驗以鏡面放大原理，分析各種振源在網上的波形，發現蜘蛛最喜歡急促連續多脈衝高振幅的振動，最怕的是單一脈衝高振幅的振動，至於無固定振幅和頻率的擾動，引不起蜘蛛的獵捕興趣或避逃反應。

壹、研究動機

九十年仲夏期間，全家選擇了離家較近的情人湖郊遊，偶然中我看見步道旁矮樹叢上，低低掛著一隻巴掌大、雖光鮮亮麗，卻讓人毛骨悚然的大蜘蛛，爸爸告訴我，那是人面蜘蛛，之後，我發現不僅一隻，而是步道兩旁到處都是，看多了以後，感覺不再害怕，反而覺得牠蠻可愛的，於是索性抓幾隻回家養，藉由天天的觀察發現，人面蜘蛛的生活天地都在網上，一方面牠藉網來捕獵物，另一方面牠也被網網住了一生；因為他的生、老、病、死、吃、喝、拉、撒都在網上解決，不論早上、晚上，不管刮風下雨，牠是寸步不離，甚致沒有網牠就斃命，這個現象引起我研究蜘蛛在網上行為的興趣，生物課本第十章節肢動物門，有簡要介紹人面蜘蛛，但不能滿足我對牠的好奇，這兩年來，除資料的蒐集、整理、飼養、觀察、實驗、紀錄、攝影、分析等過程外，也運用理化第四章平面鏡反射光線的特性，測獵物被蛛網困住後，掙扎振動之波形，展開了一連串的一網情深之旅。



情人湖



捕抓幼蛛



可愛的人面蜘蛛

貳、研究目的

- 一、觀察瞭解人面蜘蛛外部形態及生活史。
- 二、瞭解人面蜘蛛各種感覺器官的靈敏度。
- 三、解開人面蜘蛛在網上辨識獵物方向及偵測離獵物遠近的機制。
- 四、解開人面蜘蛛在網上辨識有無獵物的機制。
- 五、研究分析獵物被蛛網困住後，掙扎振動之波形。

參、研究設備器材

飼養箱、飼養網屋、儲藏室、盆景區、數位照相機、電腦顯微鏡、電腦。



肆、研究過程

一、觀察人面蜘蛛成體外部形態及生活史。

(一)人面蜘蛛外部形態，蛛網和絲之簡介。

(二)人面蜘蛛生活史，成長體色變化和情人湖野外生長觀察。

二、研究人面蜘蛛各種感覺器官靈敏度，包括視覺、嗅覺、聽覺、觸覺。

實驗一：以各種刺激源測試其視覺。

實驗二：以香水、樟腦、汽油、鹽酸等測試其嗅覺。

實驗三：以函數波產生器外接單體喇叭，發出不同波形頻率聲音，測試聽覺。

實驗四：以手觸碰不同方位邊緣絲，觀察其反應。

三、解開人面蜘蛛辨識獵物方向及偵測遠近的機制。

實驗一：觀察蜘蛛反應

1、將蜘蛛趕離網，觀察其重回原網之方法。

2、人面蜘蛛捕獵後，將其驅離，觀察人面蜘蛛如何尋找已捕獵物。

實驗二：以吸管橫跨蛛網，干擾獵物所發振源，觀察人面蜘蛛反應。

四、解開人面蜘蛛辨識網上有無獵物的機制。

實驗一：機械振動觸網，觀察不同體長之蜘蛛行為反應。

實驗二：不同振幅觸網，觀察不同體長之蜘蛛行為反應。

實驗三：不同頻率振動觸網，觀察不同體長之蜘蛛行為反應。

五、研究分析獵物被蛛網困住後，掙扎振動之波形。

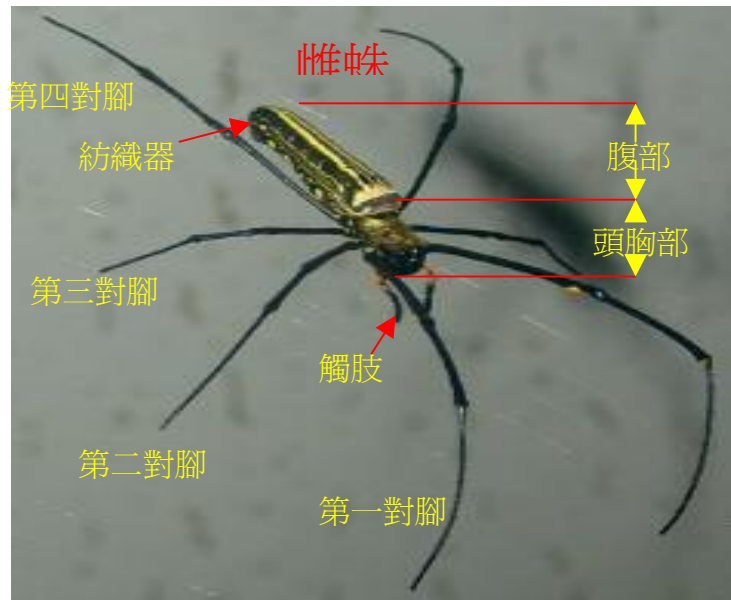
實驗一：運用鏡面反射放大原理分析，人面蜘蛛捕獵麵包蟲過程，網振動之波形。

實驗二：運用鏡面反射放大原理分析，各種振源在蛛網之波形。

伍、研究結果

一、觀察人面蜘蛛成體外部形態及生活史。

(一)雌人面蜘蛛的外部形態圖。



人面蜘蛛外部形態說明：

人面蜘蛛（*Nephila pilipes*）

別名：斑絡新婦，動物界，節肢動物門，蛛形綱，蜘蛛目，長腳蛛科，蜘蛛屬。雌蜘蛛體長約 3-5 公分，頭胸部背面有凹凸隆起如

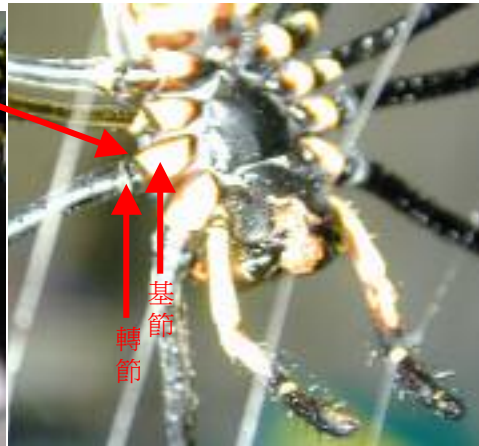
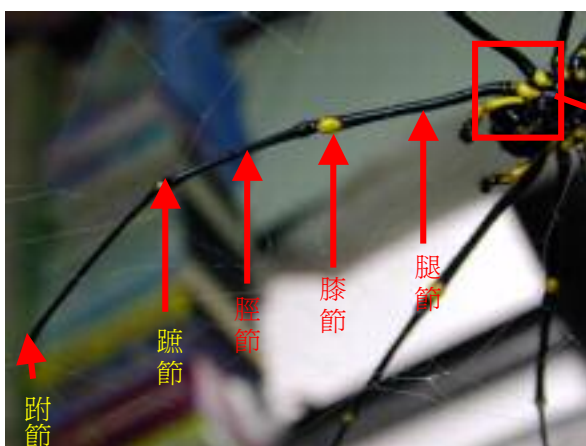


人之臉孔，腹部呈圓筒狀，底色黑褐上有黃色縱走斑紋，雄蜘蛛體長約 0.7-1.0 公分。

- 1、眼：人面蜘蛛有八個單眼，雖然其結構與人眼相似，可是看不到真實的影像。
- 2、上顎：放出毒液的器官，並不是用來咀嚼食物，而是在捕捉昆蟲後，先將毒液注入食物體內，使食物麻痺，再藉著酵素，將蛋白質分解，然後再吸取分解後的物質。



- 3、脚：有四對，每一隻腳有七節，基節、轉節、腿節、膝節、脛節、蹠節、跗節，腳上長著細毛，跗節末端有三隻爪，爪極利於織網的複雜過程中，細心處理絲網之結構。





- 4、步足：人面蜘蛛慣用第一對步足振網，以偵測獵物的方向和振源的大小，最後一對步足的功能是紡織工具，一隻步足把細絲從紡織器中拉出來遞給另一隻，然後此步足以優美的動作，把細絲放在身後基絲上，將黏絲和基絲連接起來的那個點，拉到合適的距離。

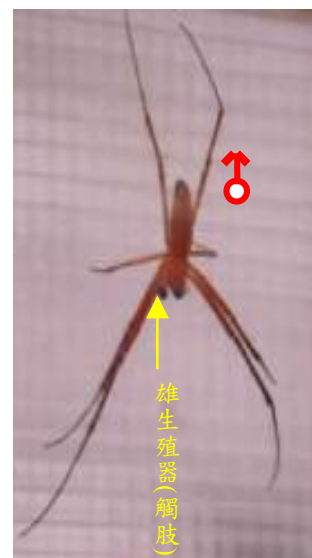
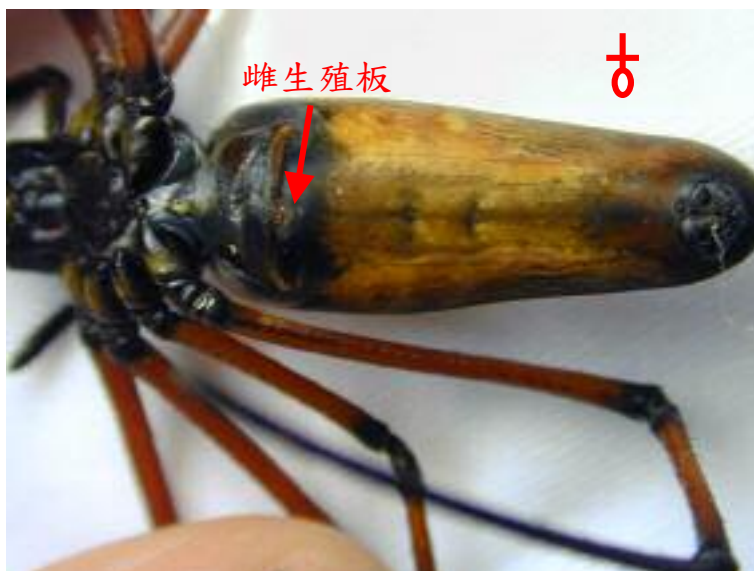
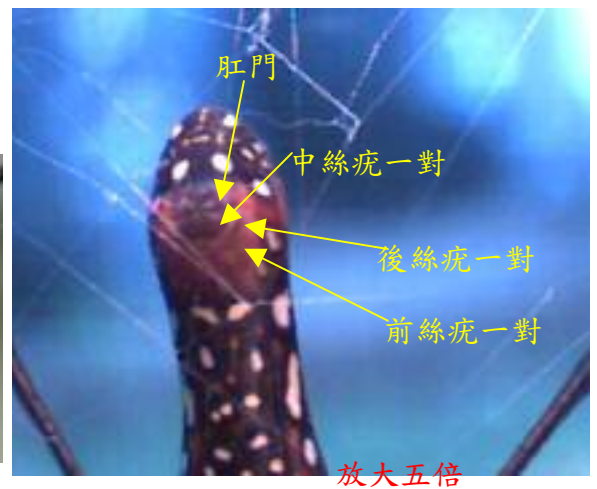


- 5、絲疣：位於腹部末端有前、中、後三對絲疣，蜘蛛結網時，是身體前進或身體上下移動，將絲線拉出，而不是絲疣將絲擠出，是須藉外力拉出，並且絲線是雙股的。

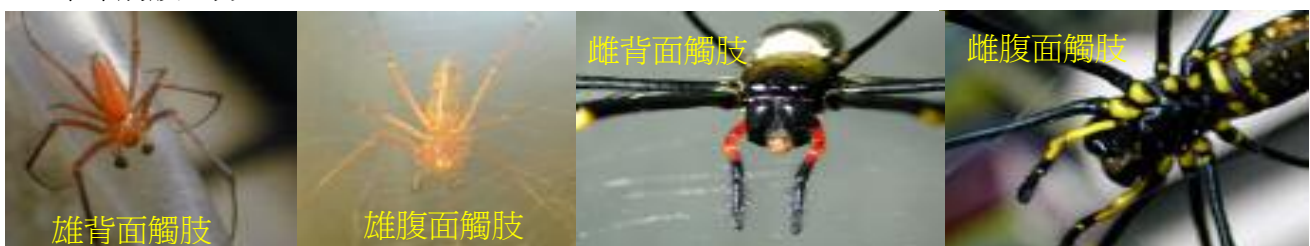


6、生殖器：

雄性觸肢的前端呈圓形，是雄性的生殖器官；雌性的腹面有外性器的結構，是雌生殖板。



7、雄雌觸肢區分：



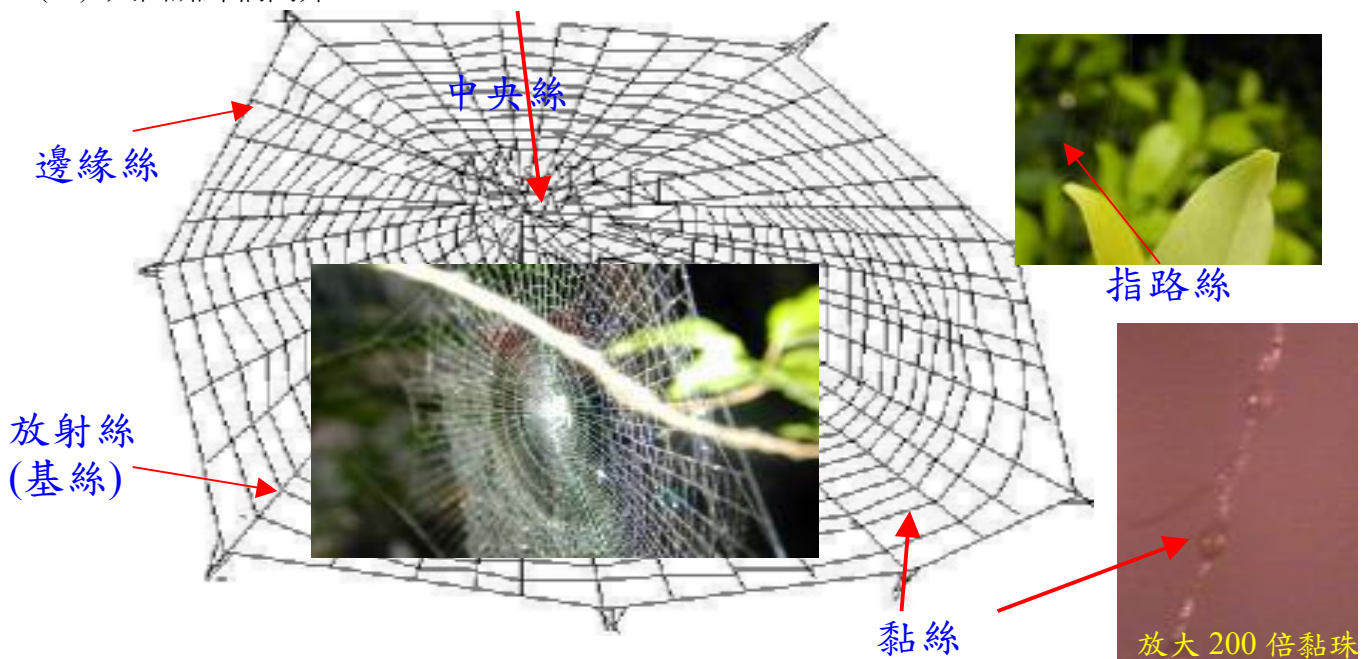
(二) 人面蜘蛛絲簡介：

1、黏性絲：蜘蛛用以黏絆獵物之帶有黏球絲。

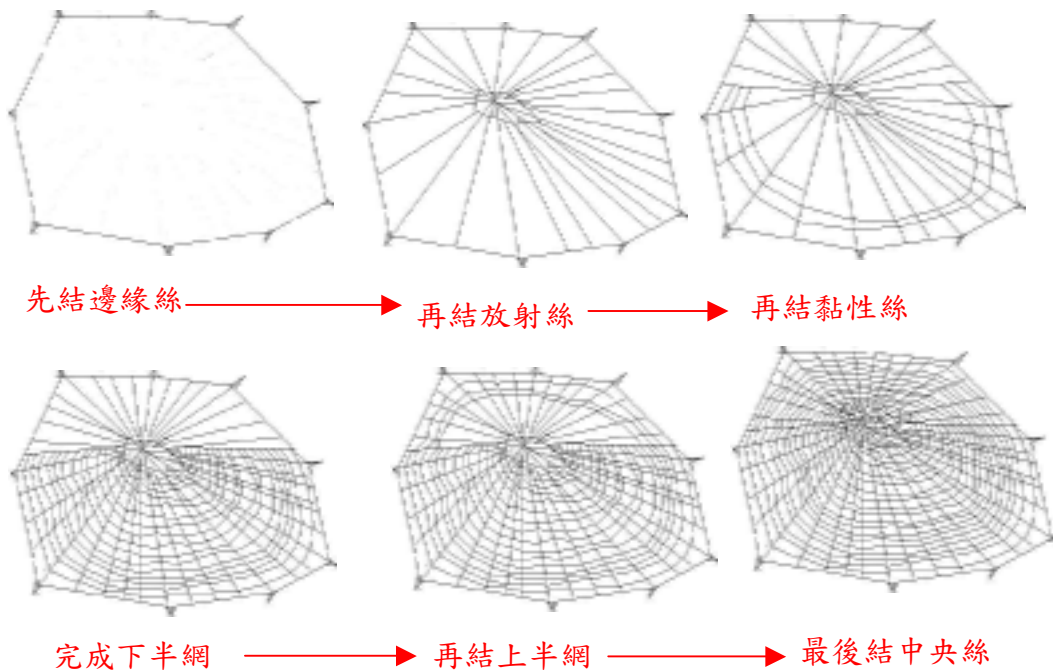
2、無黏性絲：不帶黏性的蛛絲，依其功用有以下幾種：

- (1)中央絲：蜘蛛織完外圍黏絲後，最後會在中央織一片不帶黏性的網，以便蜘蛛能在此休息，並吸食獵物及偵測其蹤跡。
- (2)基 絲：又稱放射絲，平面網從中心向外輻射供蜘蛛在網上活動及捕獵用。
- (3)邊緣絲：蜘蛛網連接固定物如樹枝幹葉等，以承載整個網重之載重絲，是最粗最堅固的蜘蛛絲。
- (4)指路絲：蜘蛛雖然離開蜘蛛網，但其紡器仍然帶有蜘蛛絲，且會隨時隨地吐絲作記號或作為逃生用吊索。

(三) 人面蜘蛛網簡介：



(四) 人面蜘蛛結網過程

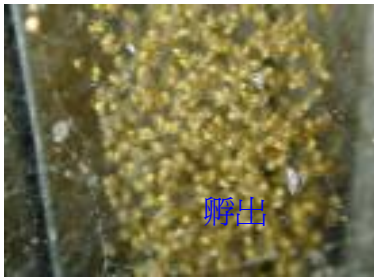


(五)輔助網

人面蜘蛛體長 1.0 公分以前，除了結主網以外，還會結輔助網，其結法乃是循著邊緣絲選定幾個點，從所選定的點，往外結圓錐形的網，有點像橫吊的漏斗，冷似竹編的捕蝦網，有時幼年人面蜘蛛會結二面輔助網，有時只結一面，藉由輔助網，讓整個網立體化，看起來非常美觀、很富有藝術氣息，注意觀察其整個網結構，不得不讓人嘆為觀止，當然，幼年期的人面蜘蛛會結輔助網，倒不是為了美觀，也不是愛炫，應該是為了加強其網的結構，因為，幼年時紡絲器細小，無法結粗絲，有了輔助網，才能使其網受的了風吹雨打。



(六)生活史圖表

期別	月份	說 明	照 片
成熟期	9 - 10	成熟的雄蛛，不結網，依附於雌蛛的網上；交配時，雄蛛直接爬到雌蛛身上，當雌蛛的腹部朝雄蛛方向抬高時，雄蛛再將沾滿精液的觸肢，插入雌蛛的生殖孔；交配完後，雄蛛即離去。	
產卵期	11	雌蛛產卵前數天很少活動，也不修補蛛網，經過交尾後，母蜘蛛便開始產卵在地面上，會用枯葉來遮蓋隱藏。	
卵囊期	12 - 2	產卵後，母蜘蛛便立即用絲線緊緊包覆，形成卵囊，產卵後，雌蛛身體虛弱，腹部皺縮，捕食能力很差，易受天敵攻擊，不久母蜘蛛自然死亡，小蜘蛛則在卵囊裏越冬，等候春季來臨孵化。	
孵出期	3	經過寒冬到了三月，小蛛在卵囊內陸續孵出後，幼蛛的腹部是圓球形卵黃色，集結在卵囊附近的樹枝間，結不規則的亂絲團，經過二週後，才個自分散，尋找自己的生活空間。	

分化期	4 - 5	人面蜘蛛體長 0.7 公分以下，無體色差異，而大於 0.7 公分後，雄人面蜘蛛體色才變化成橙紅色。雌人面蜘蛛大部分呈黃色型，小部分分化成棕色型。	 黃色型	 棕色型
生長期	6 - 8	初期，幼蛛的網互相毗鄰，聚在一些較短的未長出新枝的樹叉或枯枝之間，幼蛛結網後才開始捕食。隨著個體的長大，他們再進一步擴散，向較高處較稀疏的空間轉移，因正值溫暖的春夏期間，食物增多並藉由數次蛻皮的過程，快速長大。	 蛻皮	

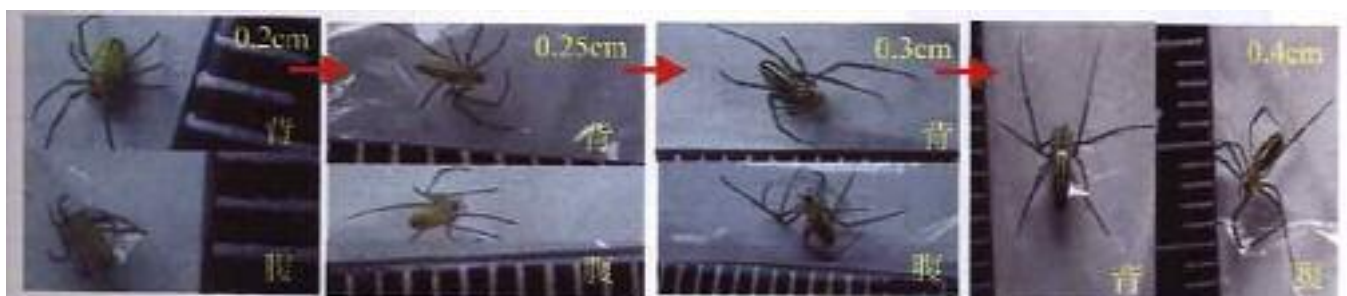
(七) 人面蜘蛛成長過程體色變化

1、顏色變化

人面蜘蛛的體色最富變化的時期為 0.1 至 0.2 公分間，孵出初期其全身是卵黃色的，並且結集一起像一團卵黃，成長到分散前，其體色由銘黃會轉向棗紅色，分散初期，先變為深的棗紅色，隨著體長的增大，慢慢變淡，在豔陽下 0.2 公分的人面蜘蛛，薄殼裏透紅，相當美麗可人。



之後 0.2 公分至 0.4 公分之間，其體殼變厚變硬，顏色也由淺轉深轉暗，0.5 公分以後成為暗黑的底色。



其次人面蜘蛛的體色變化，另一關鍵期為 0.7 至 0.9 公分之間，因為在這之前，所有人面蜘蛛不論雌雄或色型，其體色都一樣無法分辨，但成長到 0.7 公分以後，雄蛛的體色開始分化；底色由黑又漸漸變為淡橙紅，變化初期仍然從淡橙紅裏隱約透出灰斑，經過一週左右轉為鮮艷的橙紅色；也約在這個時期，棕色型的雌蛛開始變化，由暗黑的底色轉成棕

色。至於黃色型的雌蛛，其黃色斑點在此時期變大，變的更清晰，0.9 公分以後，雌雄蛛之體色可說完全定型。



2、條紋變化

至於其身體條紋，孵出初期看不出來，分散後，乃是以白色粗虛線的型態直跨背部，0.2 公分以後，由虛線連成為白條紋，0.4 公分以後條紋由白慢慢轉為淡淡的黃，直至 0.7 公分以後，雌蛛的背部條紋完全轉成黃條紋。

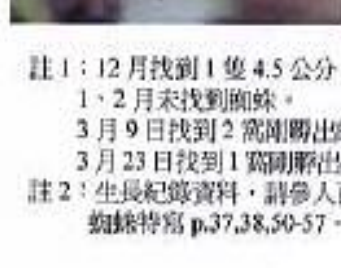
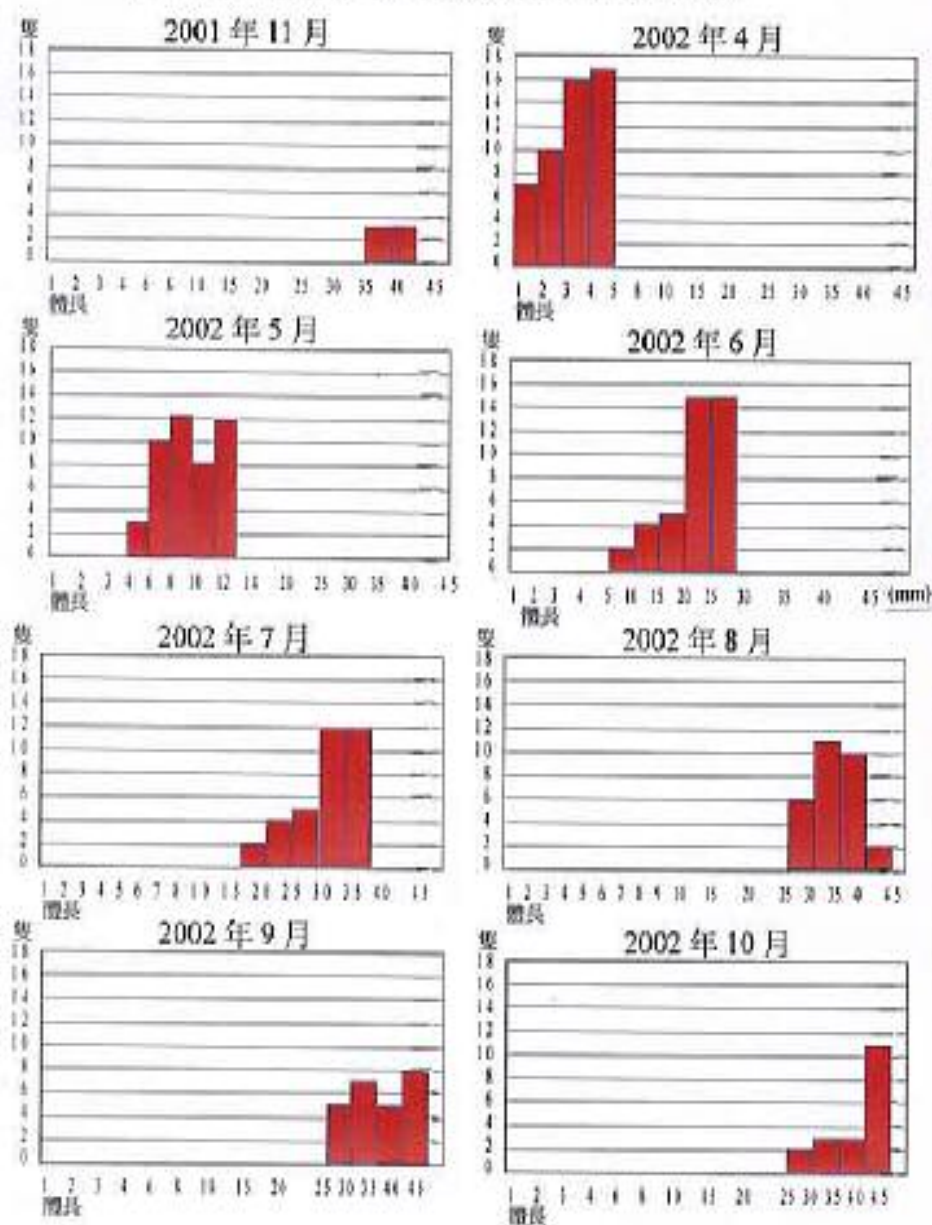


(八)情人湖野外人面蜘蛛生長觀察

1、情人湖野外觀察人面蜘蛛實驗區地圖(面積 1125 平方公尺)



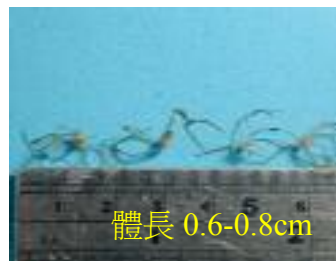
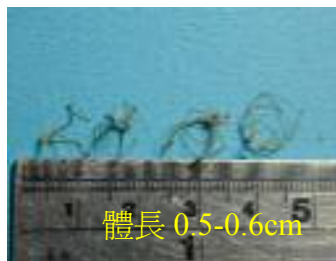
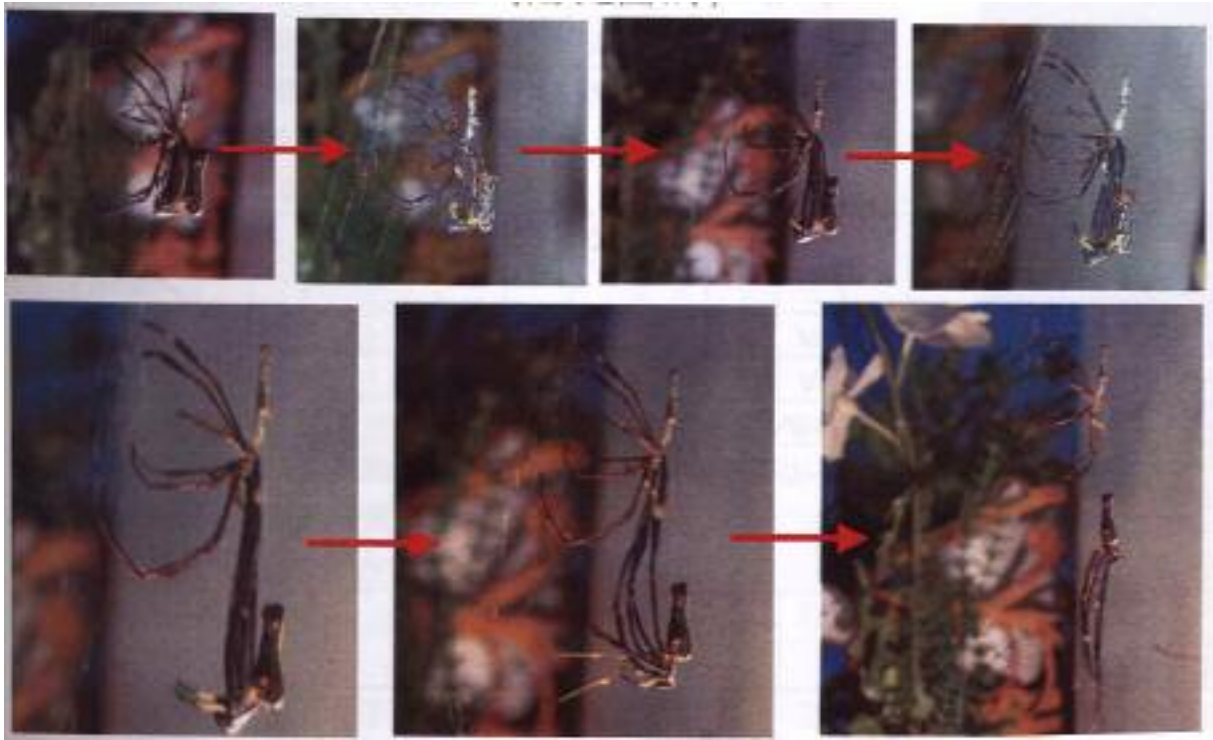
2、情人湖野外實驗區觀察人面蜘蛛各月生長直方圖



註1：12月找到1隻4.5公分
1、2月未找到蜘蛛。
3月9日找到2窩剛孵出的
3月23日找到1窩剛孵出的
註2：生長紀錄資料，請參人面
蜘蛛特寫 p.37,38,50-57。

(九)蛻皮

人面蜘蛛蛻皮前，會有食慾不振，不進食的情形，其脫皮的進行，是藉著腹部的一縮一張，先從舊表皮的頭胸部背面(金黃色像人面的殼)較脆弱的地方外翻，接著腹部慢慢的從舊殼褪出，整個身體主要部分－頭胸、腹部褪完後，全身下垂藉著重力順勢，將八隻長腳緩緩從舊腳殼往下伸出來，蛻完後，蜘蛛像是剛產完幼子，累壞的婦人，全身下垂，像一株剛出鹵汁，吊在竹桿上，攤在陽光下曝曬的鹹菜，全無意識的隨風搖蕩，整個過程，以旁觀者來看，動作緩慢而優美，然而就著蜘蛛自己而言，每一次的脫皮都經歷一次的生死之旅，曾目睹蜘蛛因為沒有蛻好，而吊死在網上。



二、研究人面蜘蛛各種感覺器官靈敏度，包括視覺、嗅覺、聽覺、觸覺。

實驗一：視覺測試

表 1

刺激來源	放置黃色紙	放置黑色紙	雷射直射蛛眼
反應情形	無反應	無反應	無反應

實驗二：嗅覺測試

表 2

刺激來源	香水	樟腦	汽油	鹽 酸
反應情形	無反應	無反應	無反應	無反應

實驗三：聽覺測試

單位：mm

表 3

樣本體長 頻率(赫)	7	8	11	15	16	23	24	29	30	34	38	45
100	×	×	×	×	×	✓	×	✓	×	✓	✓	✓
500	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓
×表蜘蛛無任何反應，✓表蜘蛛會以前肢向聲源處揮，惟無攻擊或逃離動作。												

實驗四：觸覺測試

表 4

觸碰邊緣 絲方位	上方	下方	左方	右方
反應情形	立即往下方逃離	立即往上方逃離	立即往右方逃離	立即往左方逃離

三、解開人面蜘蛛辨識獵物方向及偵測離獵物遠近的機制。

實驗一：

表 5

觀 查 項 目	實 驗 結 果
將蜘蛛驅離網，觀察其重回原網之方法。	蜘蛛逃離前，會佈下指路絲，並邊逃邊放絲，等危險解除時，會循指路絲回到原網。
人面蜘蛛捕獵後，將其驅離獵物，觀察人面蜘蛛如何尋找到已捕獵物。	蜘蛛逃離前會佈下指路絲黏在獵物上，並邊逃邊放絲，等危險解除時，會循指路絲回到所捕獵物上。
備 註	1、當獵物掙扎時，網會振動，蜘蛛前肢會勾住振源方向之基絲，並循該基絲向前衝。 2、向獵物前衝過程中，會以前肢向基絲瞬間施壓「振網」，並且邊衝邊振網。



實驗二：以吸管橫跨蜘蛛網干擾振源(參影片檔)

1、實驗設計：

將吸管置於網上 B 點處，再將獵物放置於 A 點，使吸管橫跨在獵物與蜘蛛之間，以干擾蜘蛛，偵測獵物在網上掙扎之波動，觀察在 C 點蜘蛛的反應。

2、實驗樣本：(參人面蜘蛛特寫 P.58 樣本照片)

3、實驗結果：結果歸類如下表

表 6

樣本編號	實驗結果
7,9,12,6	當獵物掙扎時，前肢會以腳勾，試圖尋找振源方向之基絲，惟四處試勾並躊躇或猶豫不前。
2,5	以偏離獵物方向前衝，衝至中途而作罷。
3,10,11	以偏離獵物方向前衝，衝至吸管處而作罷。
4,14,18	以偏離獵物方向前衝，衝至吸管處，並越過吸管後，才發現獵物真正方位。



四、解開人面蜘蛛在網上，辨識有無獵物機制(參影片檔)

實驗一：以按摩棒外接吸管開機振動觸網，觀察不同體長的蜘蛛行為反應。

1、實驗設計：

- (1) 以振頻為 60 赫，的按摩棒外接吸管如 A。
- (2) 按摩棒開機後，將吸管之尾端觸蜘蛛網的邊緣絲如 B。
- (3) 以碼錶 C 測試各種不同體長蜘蛛行為反應（捕獵或逃避）之速度。

2、蜘蛛行為反應說明如下表：

表 7

定義	蜘蛛行為反應	圖中代表顏色
無反應	實驗器材觸網 60 秒後，蜘蛛安懸中央絲無動於衷	—
躊躇反應	實驗器材觸網 60 秒內，蜘蛛於中央絲，以步足四處勾網測試，並無前進動作。	黃
獵捕反應	實驗器材觸網 60 秒內，蜘蛛往振源方向前進，採獵捕動作	藍
逃避反應	實驗器材觸網 60 秒內，蜘蛛向振源之反方向逃避	紅



3、實驗記錄(如附實驗數據表 1,2)

4、實驗結果

按摩棒接吸管所產生純機械式的振動（頻率 60 赫）確實能引起人面蜘蛛的獵捕反應，從右圖中可清楚看見，隨著體長的增加，其獵捕反應越來越強，而體長在 1.5 公分以下有明顯的避逃反應。

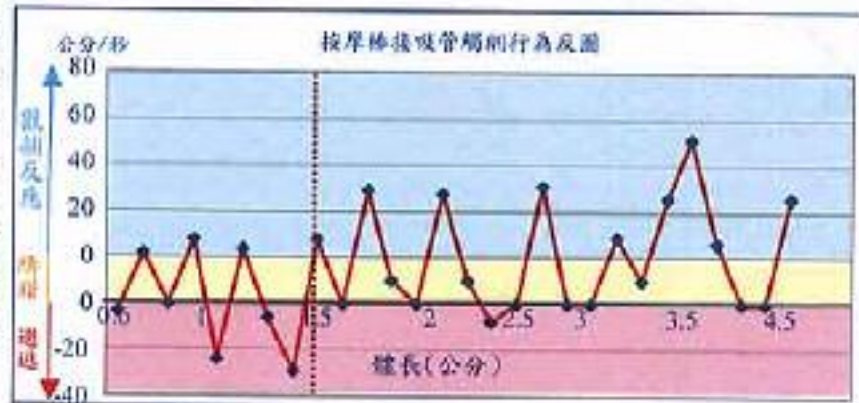


圖 1

實驗二：以鬧鐘外接鐵圈並調不同振幅觸網，觀察不同體長之蜘蛛行為反應。

1、實驗設計：

- (1)以鬧鐘外接鐵圈，並調整鐵圈之振幅各為 4.5、3.5、2.5 公分作為振源，如下照片(鬧鈴兩側貼硬紙調出不同振幅)。
- (2)鬧鐘 A 調響後，以鐵圈觸蜘蛛網的邊緣絲如 B。
- (3)以碼錶 C 測試蜘蛛行為反應（捕獵或逃離）之速度。



2、實驗記錄(另附實驗數據表 3 至 8)

3、實驗結果

時鐘接吸管當振幅調在 4.5 公分，所產生的振動，從右圖中可清楚看見，隨著體長的增加，其獵捕反應越來越強，體長在 2 公分以下會有明顯的避逃反應，可見振幅調在 4.5 公分所產生的振動，對 2 公分以下的小蜘蛛略嫌過大，使其有驚嚇反應。

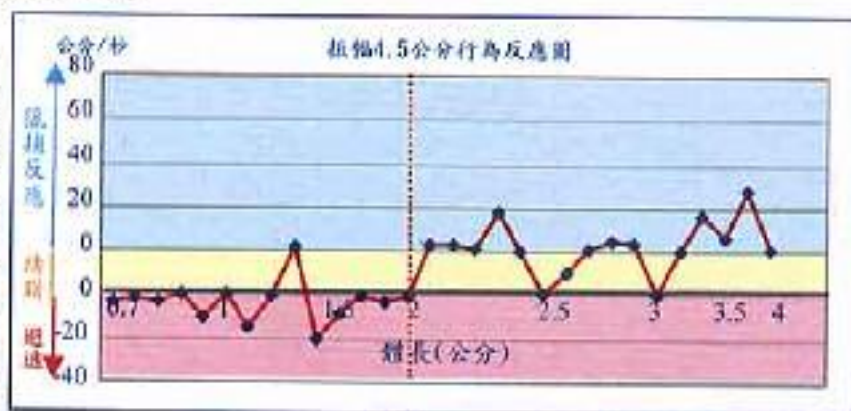


圖 2

振幅調在 3.5 公分從右圖與上圖比較可清楚看見，蜘蛛總體反應較強，且隨著體長的增加，其獵捕反應有越來越強趨勢，而有避逃反應蜘蛛體長稍有降低，即約在 1.2 公分以下。

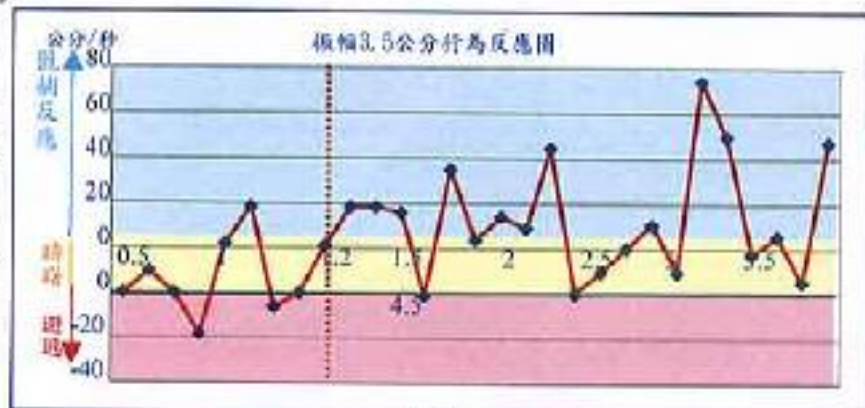


圖 3

當振幅調在 2.5 公分時，可清楚看見，蜘蛛總體反應加強了，並且隨著體長的增加，其獵捕反應反而有越來越弱趨勢，不過這樣的振幅仍會引起 1.0 公分以下的小蜘蛛逃避反應。

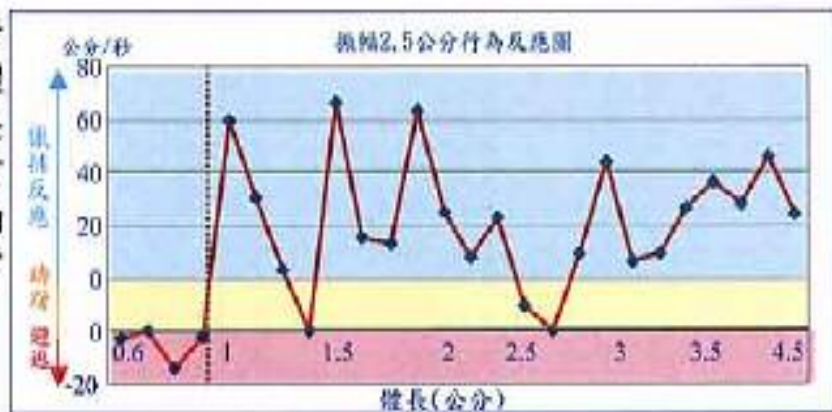


圖 4

實驗三：以函數波產生器聯結單體喇叭，再分別外接鐵線圈，通電後觸網，觀察不同體長的蜘蛛行為反應。

1、實驗設計：

- (1)以函數波產生器 E，聯結單體喇叭 B，並外接鐵線圈 C。
- (2)函數波產生器分別設定不同之頻率為 1、50、200、800 赫，將鐵絲觸不同體長之蜘蛛網的邊緣絲如 C。
- (3)以碼錶 A 測試不同體長的蜘蛛行為反應（捕獵或逃避）之速度。

2、實驗記錄(如附實驗數據表 9 至 16)

3、實驗結果

以函數波產生器外接喇叭，當頻率調在 1 赫時，從右圖中可看出，蜘蛛並沒有反應，因此，1 赫的頻率振動，對蜘蛛而言是無意義的振動，當然這是可理解的，不可能有昆蟲困在網上是以 1 赫的頻率掙扎的。

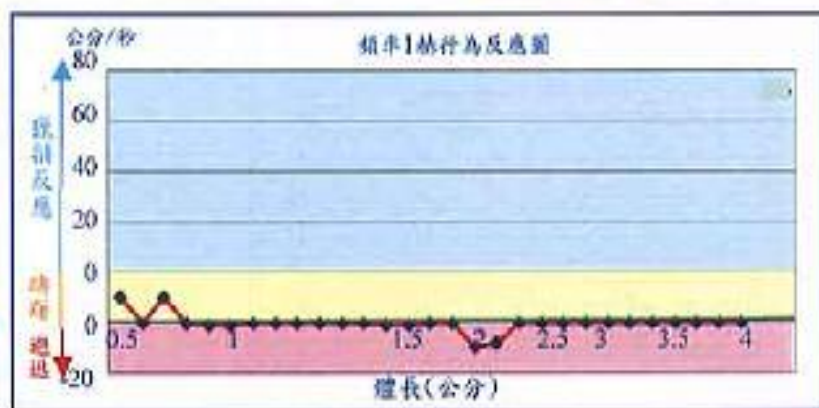


圖 5

當頻率調在 50 赫時，從右圖中可看出，蜘蛛反應明顯增強了，惟其反應強弱與體長即蜘蛛大小，似無明顯關聯。

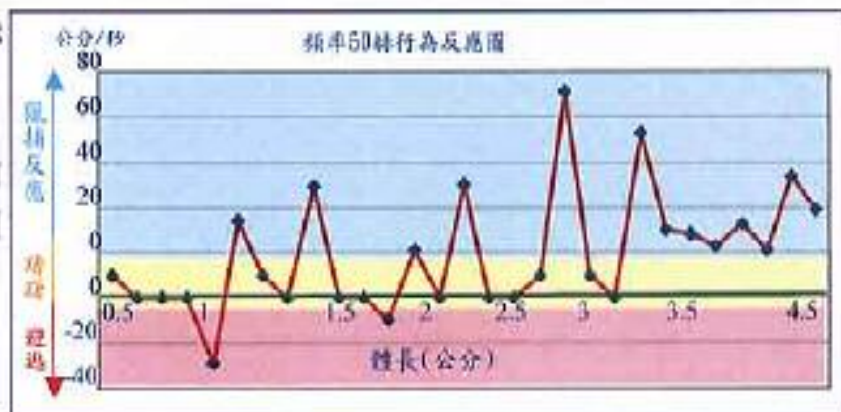


圖 6

當頻率調在 200 赫時，從右圖中可看出，蜘蛛體長超過 2 公分以後才有獵捕反應，惟其強度與體長大小似無明顯關聯。

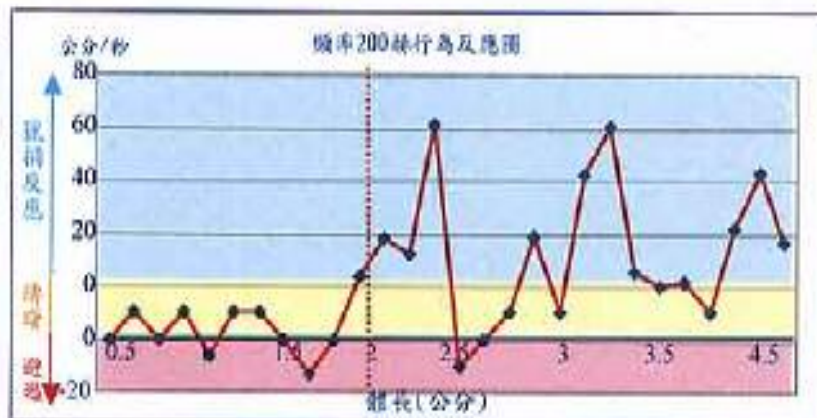


圖 7

當頻率調在 800 赫時，從右圖中可看出，蜘蛛無反應或鬧躍反應，事實上，在自然界裏，尚難找到一種昆蟲其擺動能達到 800 赫，難怪引不起蜘蛛反應。

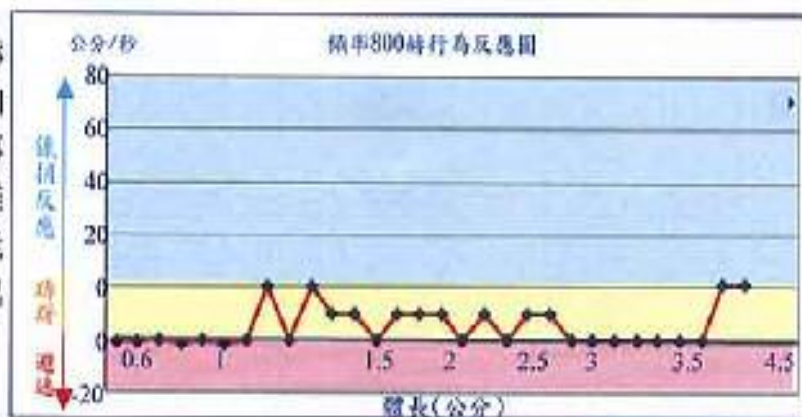


圖 8

五、各種振源在蛛網上之波形分析

(一)實驗設計：

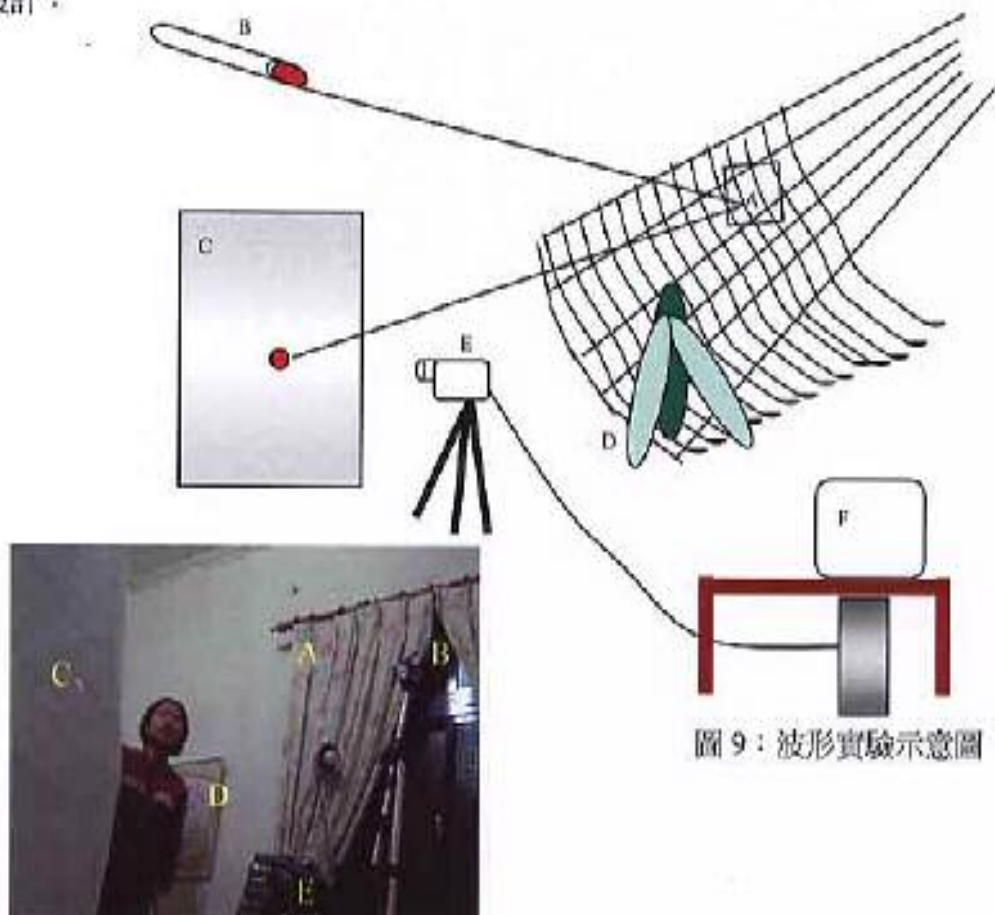


圖 9：波形實驗示意圖

F：以電影擷取軟體將各種振源所產生之光點移動情形予以紀錄並輸入 EXCEL 軟體，以分析各種振源之波動情形

設右圖中
 $\overline{AB}$ 爲鏡面
 $\overline{DC}$ 爲雷射入射光
 $\overline{EC}$ 爲雷射反射光
 $\therefore \angle DCA = \angle ECB$ (入射與反射角相等)

再設鏡面順時針旋轉 θ 度
 $\therefore \angle DCA' = \angle ECB'$ (入射與反射角相等)
 $\angle DCA + \angle ACA' = \angle E'CE + \angle ECB'$
 $\angle DCA + \theta = \theta' + \angle ECB - \theta$
 $\theta = \theta' - \theta$ ($\because \angle DCA = \angle ECB$)
 $\theta' = 2\theta$

因此,只要鏡面旋轉 θ 度,雷射筆反射光將偏移 2 倍的角度。

再者，因為受到光屏幕距反射點(鏡面)之距離 L 加大為 L_1 ，雷射光點在受光屏幕之位移 EE' 亦將加大為 E_1E_2 如圖 10。

2、受光屏距反射點(鏡面)之值 L：如果太大會放大倍數過大。無法補抓光點之位移，如果 L 太小則因放大倍數太小，亦無法觀察細微的振動，經過多次實驗，我選擇 L 值為 85 公分，其效果最好。

1. 當光點在受光屏幕上隨網之振動而移動時，同時以攝影機將其拍攝，A 點攝影機每秒鐘可補抓 30 張畫面。
2. 再以波放軟體再 B 點電腦上一張一張跳播，電腦螢幕貼上畫有座標方格之 C 點投影膠片，將所播放之光點軌跡座標，鍵入另一台 D 點電腦 EXCEL 之資料欄(30 點代表 1 秒)。

- 3、將所有移動軌跡鍵入完成後，將E點所要繪出之數據予以反白，再選擇繪圖類型為「折線圖」模式將其繪出，則得振動之波型。

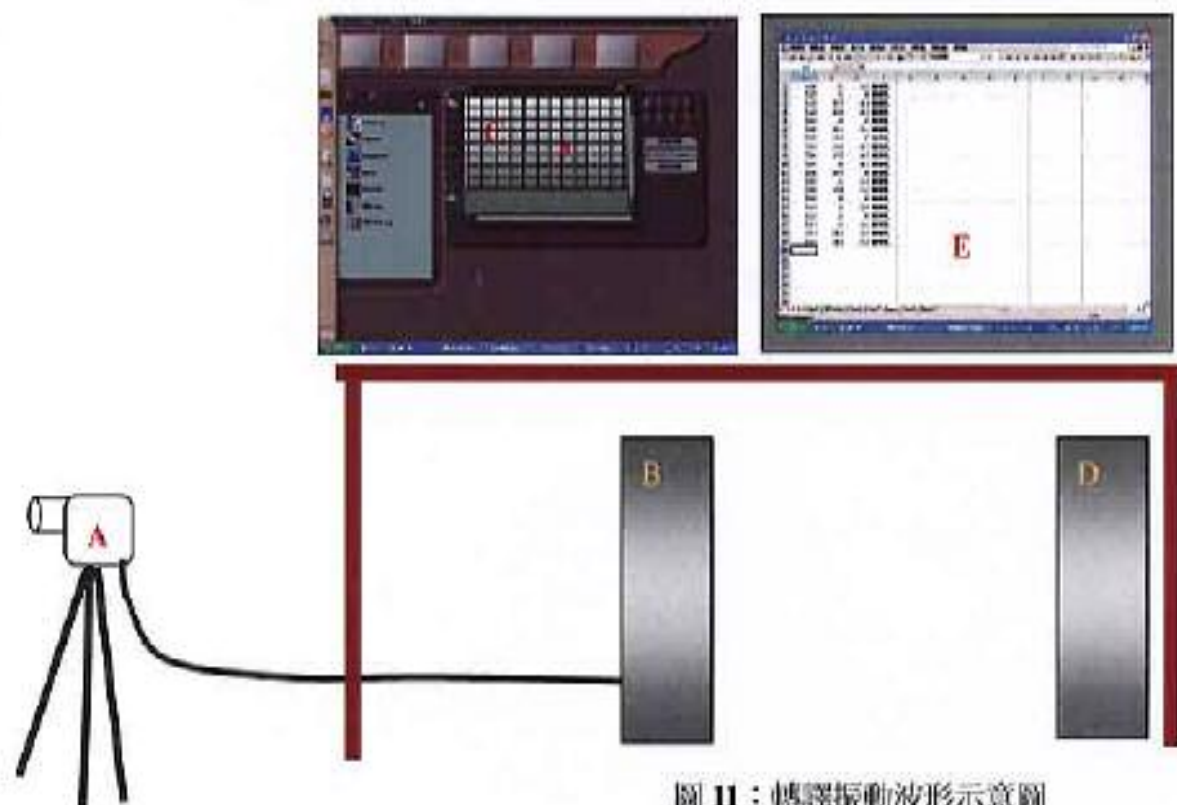
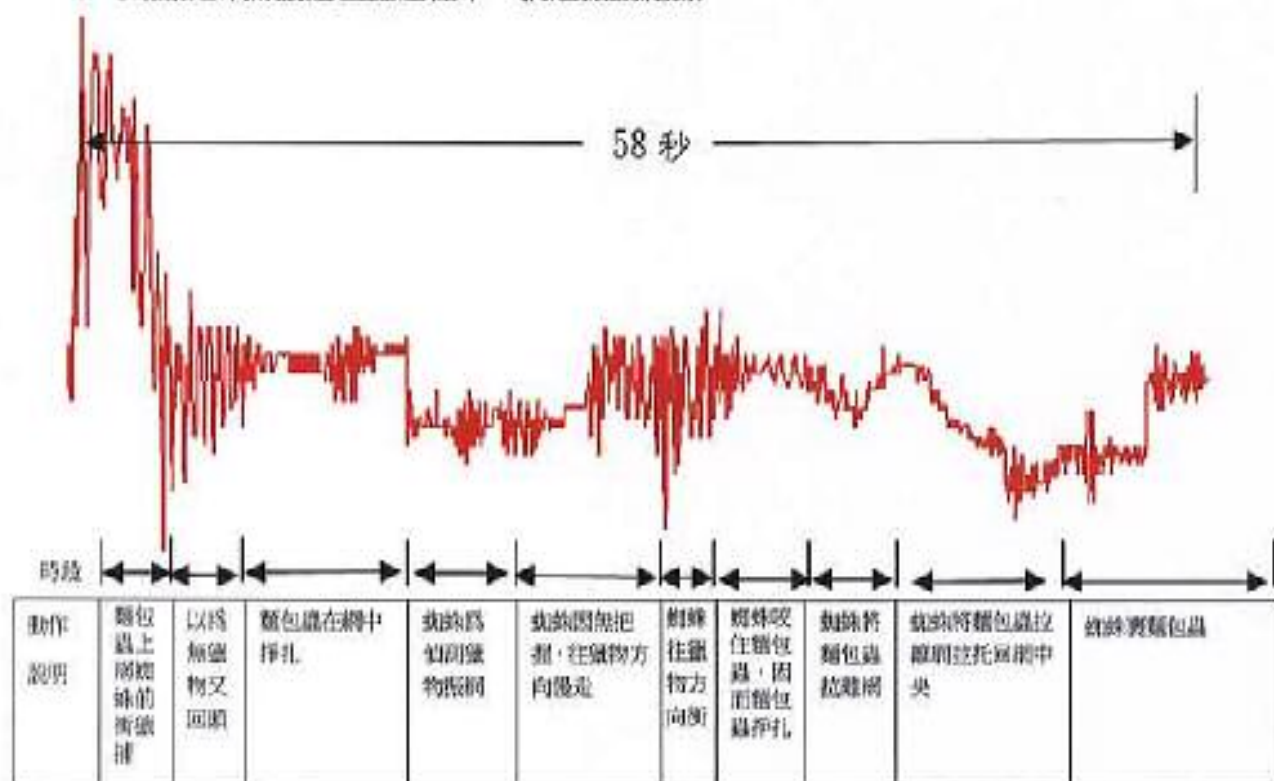


圖 11：轉譯振動波形示意圖

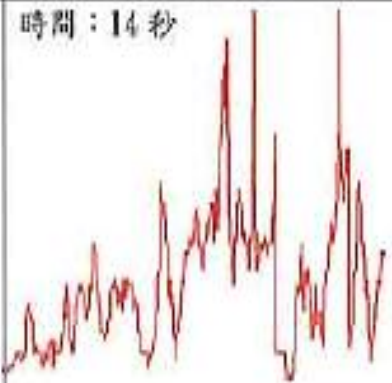
(四)實驗紀錄(如附實驗數據表 17 至 21)

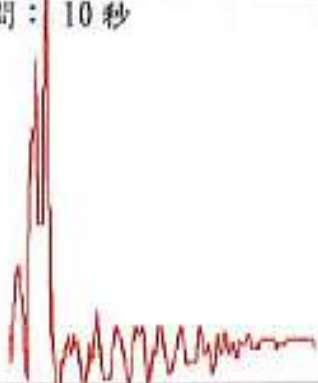
(五)實驗結果

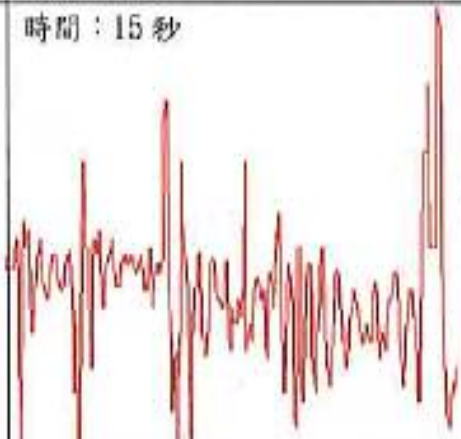
1、人面蜘蛛捕獵麵包蟲過程中，網之振動紀錄



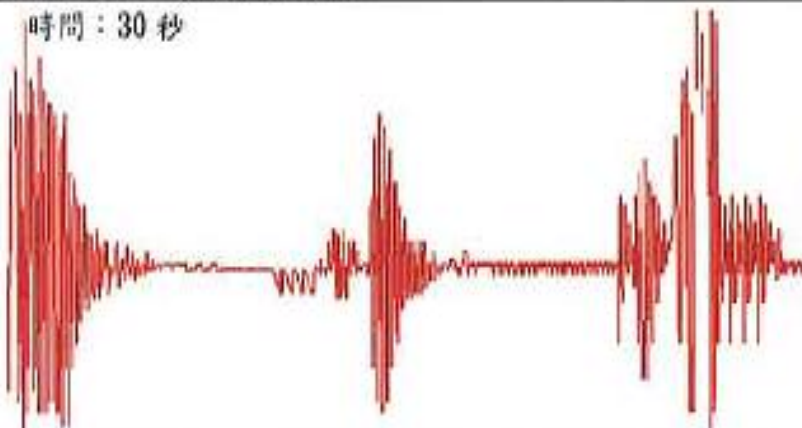
2、各種樣本（振源）在網上造成網之振動情形

樣本1	風吹網振動之波形
波形	時間：14 秒 
說明	風造成之振動較為平緩而無明顯脈衝之振動。

樣本2	手觸網振動之波形
波形	時間：10 秒 
說明	手造成之振動為急促且單一脈衝之振動。

樣本3	蝶在網上掙扎振動之波形
波形	時間：15 秒  
說明	蝴蝶造成之振動為急促連續多脈衝且相對高振幅之振動。

樣本4	鉅色蟲在網上掙扎振動波形
波形	時間：5 秒  
說明	鉅色蟲造成之振動為低振幅間斷式脈衝的振動。

樣本5	蚱蜢在網上掙扎振動之波形
波形	時間：30 秒  
說明	蚱蜢之振動為高振幅間斷式急促脈衝之振動。

陸、結果討論

一、人面蜘蛛成長的故事

從飼養中觀察到，人面蜘蛛是一年生動物，約在三月孵出卵囊，並自行結網捕食，大部分剛孵出的小蜘蛛會死亡，小部分繼續成長，經過一個月後，快速成長，其中五、六、七月成長最快速，經過多次的蛻皮，八、九月大部分都達到成熟，雌蛛產卵在地面上，會用枯葉來遮蓋隱藏。產後於寒冬期間，陸續死亡，結束了牠快速而短暫的一生。

當牠剛孵出時，會在卵囊附近，經過約兩週後，彼此分開，個自在地表枯枝或樹幹，離地附近結網維生，越成長，網會結的越高、越大；幼年期，網小只能捕抓果蠅、蚊等小昆蟲，等到成熟期，因為網高，就能網住蝴蝶蝗蟲等較大型飛行動物。

人面蜘蛛的體色變化在幼年期體長 0.1 至 0.2 公分間是最豐富的，短短幾週從卵黃色、銘黃、深棗紅色到棗紅色，慢慢變淡之後，到 0.2 公分至 0.4 公分之間，其體殼變厚變硬，顏色也由淺轉深轉暗，0.5 公分以後，成為暗黑的底色。

在幼年期，雌雄之外部形態是一樣的，體長到 0.7 公分以後，外部體型體色才開始雌雄有別，且雄性體色乃是非常快速的改變，約一週內，變成橙紅色。而棕色型人面蜘蛛亦在體長 0.7 公分以後變色。

其次人面蜘蛛體長在 1.0 公分以下會結輔助網，主要因其絲太細，為能耐風吹雨打，非再結輔助網不可。

二、人面蜘蛛的感官世界

人面蜘蛛的眼睛，從實驗結果知對刺激源無反應，也就是說，當昆蟲被蛛網黏住，蜘蛛能確定牠在何處，並不是藉著視覺。

蜘蛛的觸肢和腳有細毛，步足末端的爪可以勾住絲線，並藉此傾聽，研究觀察中可知，當喇叭頻率調整至 100-500 赫間，其前肢會向聲源處揮動，表示對聲音有感覺，惟並不能激起牠發動攻擊或逃離動作；因此聽覺並不是關鍵性的感官；而帶領牠去明瞭周遭環境（險境、食物所在），完全靠腳勾偵測網之振動。



觸肢上有細毛



腳上有細毛



爪勾住網

三、蜘蛛辨識網上獵物的方向與偵測獵物遠近的機制

(一)藉基絲辨方向

蜘蛛通常都會停留在網中央，八隻腳勾住四面八方的八根基絲，只要任何一支振動，馬上會循絲捕獵或循絲逃離。並且其尾部紡絲器，隨時都有絲連於網，移動時隨時會放絲，因此待險境解除時，再循絲回網，或循絲尋獵物。

(二)、振網—運用繩波原理測遠近

1、繩波原理說明：

(1)一條拉緊的繩子會傳遞振動，其傳遞之速度設為 V

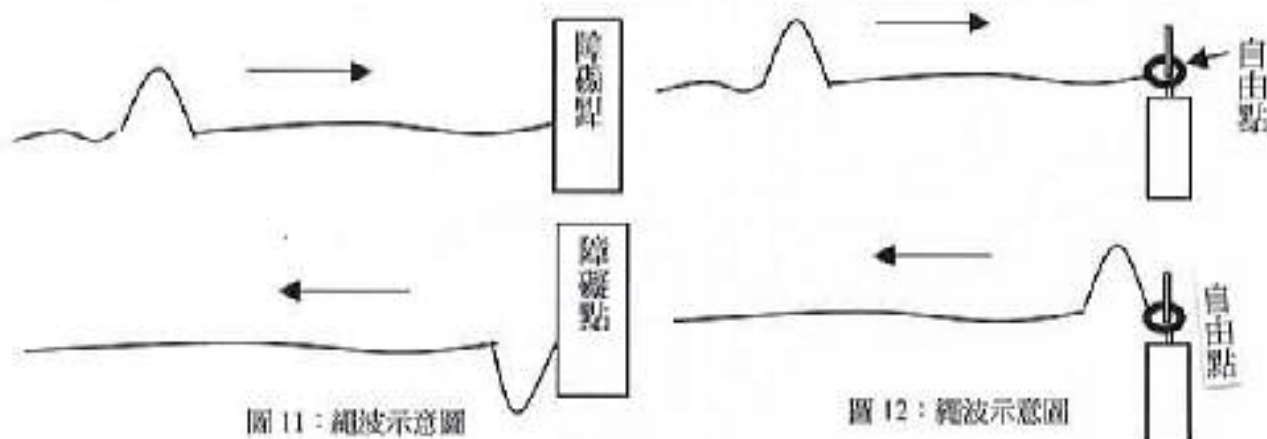
$$V = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad (F \text{ 為繩子所受的張力，} \mu \text{ 為繩子的密度})$$

假設繩子所受的張力 F 一定，且其密度 μ 不變，則波（振動）在繩上的傳遞速度為定值（常數 k ），即：

$$V = \frac{L}{T} = k \quad (L \text{ 為波在繩子上傳遞的長度，} T \text{ 為波傳遞的時間})$$

所以， $L=kT$ 亦即只要知道波在繩子上行進的時間，就能判斷波在繩子上行進的長度。

(2)繩波行進時，若遇到固定端（障礙）時，會反射回來，而其反射回來的波，會上下顛倒如圖 11；若遇到自由端時，會透射回來，其波上下不顛倒如圖 12。



2、人面蜘蛛獵捕時振網之意義

(1)測遠近

假設人面蜘蛛每次振網之力道(F)一樣(至少力道大小牠會衡量)，而基絲的密度是不變的，因此，從繩波原理知，振網後只要衡量一下，傳出的波動，遇見獵物後反射回來的時間長短，便知道獵物的距離，難怪蜘蛛為掌握況狀，常常在捕獵過程中，要不時的振網，這種習性如同蝙蝠，不時發出超音波偵測面前的障礙物和軍隊發射雷達波偵測敵機敵艦，有異曲同工之妙。

(2)辨識有無獵物上網

蜘蛛絲是極富彈性的，是波的良好導體，因此，基絲與四圍邊緣絲交接處可視為繩波的自由點，亦即振網所傳送的波動達到邊緣絲時，依繩波透射原理，其回傳之波形是不顛倒的，而當波動遇見獵物時，如同遇見障礙物一樣，反射回來的波會上下顛倒，因此，有沒有獵物上網，蜘蛛只要振網後，去感受反射回來的波，有否上下顛倒，即可明瞭。

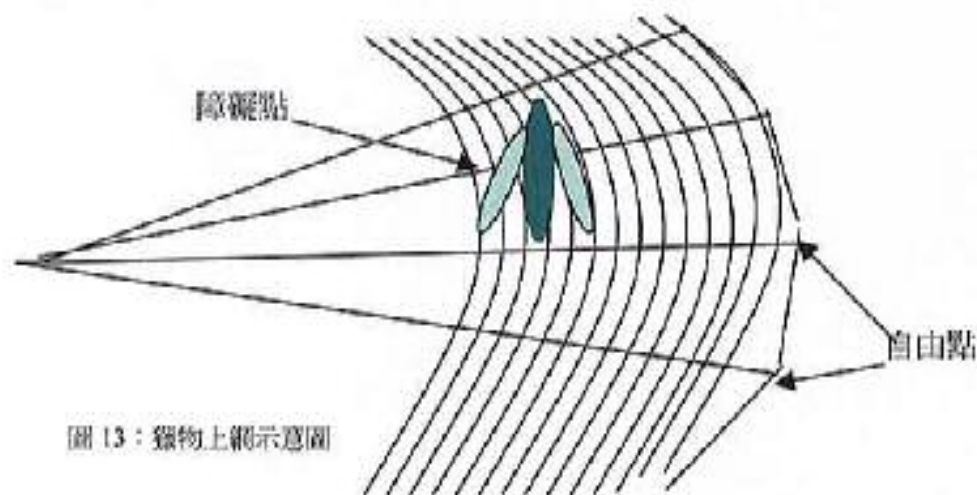


圖 13：獵物上網示意圖

四、人面蜘蛛辨識網上有無獵物的機制，乃靠獵物上網掙扎時的振動。

以不同體長的蜘蛛樣本為測試對象，所作結果可知人面蜘蛛辨識獵物，確是靠振動。

(一)單純的機械式振動，即能引起蜘蛛獵捕反應

以按摩棒外接吸管，開機振動（頻率 60 赫）觸網，蜘蛛居然會如同發現獵物般，往振源處直衝獵捕；且從實驗中可知，從 0.6 到 4.5 公分不同體長的蜘蛛，都會有獵捕行為反應，事實上，按摩棒外接的吸管，除了機械式振動以外，並沒有其它吸引人面蜘蛛的理由，因此，振動本身即可引起蜘蛛獵捕反應是確實的，無需靠視覺或嗅覺。

(二)不同的振幅，會引起蜘蛛不同反應

1、振源的振幅過大(4.5 公分)會驚嚇小蜘蛛

以鬧鐘外接鐵圈並分別調整不同振幅觸網的實驗結果得知，當振幅調在 4.5 公分時，實驗中可知體長在 2 公分以下，會有明顯的避逃反應，體長超過 2 公分以上的成蛛，則明顯有獵捕反應，且隨著體長的增加，蜘蛛的反應會有越來越強的趨勢，惟與小振幅的實驗作比較，清楚可見蜘蛛的總體反應，在大振幅時的反應較差，因此，振幅太大会使蜘蛛認為是敵人而驚嚇。

2、振源的振幅小時(2.5 公分)較能引起小蜘蛛獵捕反應

當振幅在 2.5 公分時，有避逃反應的蜘蛛體長明顯下降，即 1.0 公分以下的蜘蛛才會逃離，惟相較於大振幅，蜘蛛的總體反應加強了，只是在振幅 2.5 公分時，蜘蛛反應強度與體長並無關聯，亦即在振幅 2.5 公分時，蜘蛛的偏好無差異。

3、振幅的大小是蜘蛛判斷獵物或敵人的重要因素

綜合比較鬧鐘外接鐵線圈的不同振幅的實驗，發現隨著振幅的減小，蜘蛛的總體反應增強，亦即太大振幅，蜘蛛不喜愛甚至會害怕；而振幅調整在 3.5 公分、4.5 公分時，其反應強度與體長成正相關，亦即大型蜘蛛對大的振幅較喜愛，但當振幅在 2.5 公分，其反應強度與體長無關聯，表示振幅在某一值域，是蜘蛛均適應且喜愛的，因此，振幅的大小實在是蜘蛛判斷獵物或敵人的重要因素。

(三)不同的振動頻率，會引起蜘蛛不同的反應

1、蜘蛛不喜愛低頻率(1 赫左右)的振動

在函數波產生器調整頻率為 1 赫，外接鐵線圈觸網的實驗中，發現所有不同體長的蜘蛛都無反應，可見太低頻率的振動，是引不起蜘蛛反應的，其原因很簡單，並沒有任何的昆蟲或小動物，陷在網上會以 1 赫的頻率掙扎，經驗告訴牠，這樣的

低頻率並不是獵物。

2、蜘蛛喜愛較高頻率(但不能太高如超過 800 赫)的振動

當函數波產生器調整頻率為 50 及 200 赫時，其獵捕反應明顯增強，因此，很明顯蜘蛛喜愛高頻率振動，這種現象極易理解，頻率越高表示獵物掙扎越厲害，在網上掙扎厲害的動物，對蜘蛛而言，是弱者、美味更是獵捕的好對象。

3、不同體長蜘蛛對不同頻率的好惡並無分別

從實驗可知，頻率不論是固定在 1、50、200 或 800 赫，蜘蛛的反應強度與其體長並無關聯，亦即不同體長的蜘蛛對頻率的好惡並無分別，並不會有小蜘蛛喜歡小頻率或大蜘蛛喜歡大頻率的情形，不同於前項實驗中，蜘蛛對不同振幅的反應。

4、振動頻率的大小是蜘蛛判斷獵物重要因素

當頻率為 1 赫時，蜘蛛無反應，增強為 50 赫時蜘蛛明顯有反應，再增強為 200 赫時，總體反應又增強，直至 800 赫時，反應明顯減弱，因此，振動頻率也是蜘蛛判斷獵物的重要因素。

五、各種振源在蜘蛛網上波形之分析

(一)人面蜘蛛喜愛急促連續多脈衝高頻率振幅的振動

從實際飼養觀察中得知，當蝴蝶上網時，人面蜘蛛總是毫無猶豫的往蝴蝶方向直衝，深怕蝴蝶逃離撲空，實驗中蝴蝶最能引起人面蜘蛛產生獵捕行為；仔細觀察蝴蝶在網上掙扎時，發現整個網抖動，振動相當明顯，難怪我們以鏡面反射放大原理，轉譯出其網振動之情形，為急促連續多脈衝且相對高振幅之振動。可見蜘蛛原則是喜歡高振幅、高頻率(急促)振動(此點與前項辨識獵物機制的實驗結果相同並相呼應)，振幅頻率越高，表示獵物掙扎越厲害，一方面讓蜘蛛容易偵測獵物所在位置，一方面乃在告訴蜘蛛上網獵物是弱者，可盡情的去獵殺吧！

(二)間斷式脈衝或低振幅的振動，會引起蜘蛛「振網」偵測行為

麵包蟲在網上的振動，乃低振幅間斷式脈衝的振動，從實際飼養觀察中，蜘蛛對麵包蟲上網，常有猶豫、偵察(振網)的情形，與對蝴蝶之反應決然不同。

(三)急促且單一脈衝的振動，會讓蜘蛛有避逃行為

每次以手觸網，都會讓人面蜘蛛有避逃反應，經由轉譯發現，手觸網的振動乃是急促且單一脈衝的振動。這種振動模式，明顯與獵物上網掙扎不同，所有獵物的掙扎都會產生多脈衝的振動，單一脈衝的高幅振動，對蜘蛛而言就是大敵臨前，先逃為妙(本點與前項函數波產生器頻率調為 1 赫的實驗結果相同)。

(四)蜘蛛對於無明顯脈衝、無固定振幅頻率的擾動無反應

風的振動乃是無明顯脈衝，無固定振幅頻率的擾動，這樣的振動，蜘蛛可以輕而易舉知道，既不是敵人也不是獵物，不過是風吹的振動，所以不會讓牠有任何的行為表現。當然蜘蛛的腳勾非常的靈敏，些微的振動牠都偵測的到，而各種獵物的振動模式均不一樣，因此，蜘蛛經由不斷偵測和獵捕，經驗會告訴牠，那種振動是那種獵物，因此對於各種振動，蜘蛛只要經由判斷亦可知振源係何物，好吃的或不好吃的獵物。

柒、結論

- 一、人面蜘蛛壽命僅有一年，於三月間孵出，成長至十、十一月間產卵後死亡，體長於 0.1 至 0.2 公分之間有豐富的體色變化，0.7 公分以後，雄雌及黃、棕色型體色開始分化。
- 二、人面蜘蛛的視覺、嗅覺、聽覺均不甚靈敏，而帶領牠去感受周遭環境的（食物和敵人）乃是靠最靈敏的腳，末端的爪和感覺毛，甚致在某段頻率、振幅間之機械性振動，均能驅使其獵捕或避敵行為。
- 三、人面蜘蛛藉由基絲的振動而測知獵物方向，並藉由振動在基絲裏的傳遞時間長短（繩波原理應用）感知獵物之遠近。
- 四、振幅的大小、頻率的高低是蜘蛛判斷獵物或敵人的重要因素。
- 五、從振源在蛛網上波形之分析可知，蜘蛛喜愛急促連續多脈衝高頻率、高振幅的振動，害怕急促且單一脈衝的振動，對於無明顯脈衝、無固定振幅、頻率的擾動無反應。



捌、應用與展望

目前世界上頂尖的大學、生技實驗室，甚致某些生技公司，生技學者對於蜘蛛的絲非常感興趣，投下相當多腦力財力從事絲的研究，因為蜘蛛的絲具有高彈力及延伸率，輕細卻超強韌，經長期的研究，蜘蛛絲可作為防彈衣等特殊材料；其次引起生技科學家興趣的是蜘蛛的毒液，蜘蛛毒液並不能立即毒斃獵物，不過將其麻醉，因此，生技專家正積極研究利用其毒液作為高品質的麻醉用藥。

事實上，蜘蛛除了絲及毒液特殊而具實用價值外，蜘蛛尚有與眾不同值得研究之處，乃其特殊的行為模式—靠測振動過生活（如本實驗結果），目前仿生學在各領域裏非常盛行，許多創造和發明的靈感均來自生物肢體、動作、行為模式等，如挖土機（怪手），即仿造生物肢體創造的，直升機仿蜻蜓，熱追蹤器仿蛇，雷達、飛機、聲納、機器人、微型機械……等，而蜘蛛的測振行為模式，或許人類在不久的將來可以模仿作為導盲器，不僅為盲人，亦可當作非紅外線的夜晚裝置，或測振儀等。

玖、參考資料

- 1、卓逸民 人面蜘蛛體色多形性之演化機制及族群地理親緣關係研究 國科會專題研究計畫成果報告 民 88
- 2、杜心怡 不同體色人面蜘蛛族群遺傳結構、體色變化模式及昆蟲捕食力之研究 東海大學碩士論文 民 90
- 3、李文貴 傅燕鈴 卓逸民 自然觀察圖鑑 親親文化事業 p.184-185 民 91
- 4、光復書局 光復彩色百科大典 1 動物 台北市 p.386 民 73
- 5、讀者文摘遠東有限公司 自然界奇觀 香港 p.44-46 民 66
- 6、Harris Benson(朱達勇譯) 普通物理學 台北市 歐亞書局 p.128-130 民 81
- 7、Rainer F.Foelix Biology of Spiders U.S.A. p.112-123 1982

評語

- 1.實驗融入生活，非常值得鼓勵。
- 2.實驗精神與結果具人類與其他生物和平共處之生物多樣性精神與實踐。
- 3.作者熱心投入研究，並符合科學研究精神與步驟。
- 4.研究中應用物理反射波等原理來分析，具跨學科統整運用能力。
- 5.實驗方法之創性高。