

# 中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 生物科

**第三名**

030315

**夏綠蒂 2D 和 3D 的世界**

學校名稱：基隆市立武崙國民中學

作者：  國二 潘昱瑄  國二 陳彥叡  國二 江亞霖	指導老師：  施嶸旭  葉玉君
---	-----------------------------

關鍵詞：泉字雲斑蛛、肩斑銀腹蛛、蜘蛛網

## 摘要

泉字雲斑蛛及肩斑銀腹蛛都常在向光面、植株頂端和建築角落結網，結網過程則都是由框架(障礙網)→縱絲→橫絲，但因泉字雲斑蛛的網是圓錐網；肩斑銀腹蛛則是平面網，故泉字雲斑蛛結網所花費的時間較長，而五種蛛絲的拉力及粗細皆以泉字雲斑蛛的障礙網最大，肩斑銀腹蛛的橫絲最小。兩蛛的棲息位置為網頂及網眼，皆可以最短距離、時間到達網上任意點。捕獵時，若獵物體型較小，則不一定會纏繞，但都會將其壓縮成圓形，並在吸食後丟離。肩斑銀腹蛛被雨滴、異物、震動干擾時，反應比例並不高，且會出現感覺疲勞，而泉字雲斑蛛受干擾時的反應比例較高，但移動距離較小，且較不易出現感覺疲勞的情形。

## 壹、 研究動機

在校園中，常見到蜘蛛結網在高處，令人不禁在風雨交加的時刻替牠們捏把冷汗，我們在擔心之餘，注意到一個區域中有兩種不同形狀的蜘蛛網，這引起了我們的好奇心，前去詢問老師，老師說可能是不同品種的蜘蛛造成的，我們便到花園觀察，這才發現有兩種蜘蛛將網結在一起，四隻肩斑銀腹蛛和一隻泉字雲斑蛛群居在一處，牠們一個結的是平面網；一個結的是立體網，因此我們對牠們產生了興趣，想知道牠們的差異，便開始了這個研究。

## 貳、 研究目的

- 一、 觀察泉字雲斑蛛及肩斑銀腹蛛結網的特性
  - (一) 結網環境的研究
  - (二) 結網過程的研究
- 二、 探討泉字雲斑蛛及肩斑銀腹蛛的蛛網特徵
  - (一) 蛛網的特徵及幾何概念
  - (二) 蛛網的顯微觀察
  - (三) 蛛網的張力
- 三、 研究泉字雲斑蛛及肩斑銀腹蛛蛛網受干擾的行為模式
  - (一) 雨滴干擾
  - (二) 異物干擾
  - (三) 震動干擾
- 四、 探討泉字雲斑蛛及肩斑銀腹蛛棲息位置與捕獵行為
  - (一) 棲息的空間概念
  - (二) 捕獵的過程
  - (三) 獵物在網上蜘蛛的捕獵行為

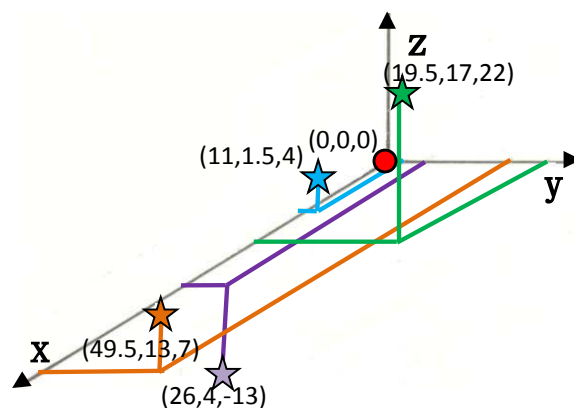


圖1 蜘蛛群居示意圖

● 代表泉字雲斑蛛

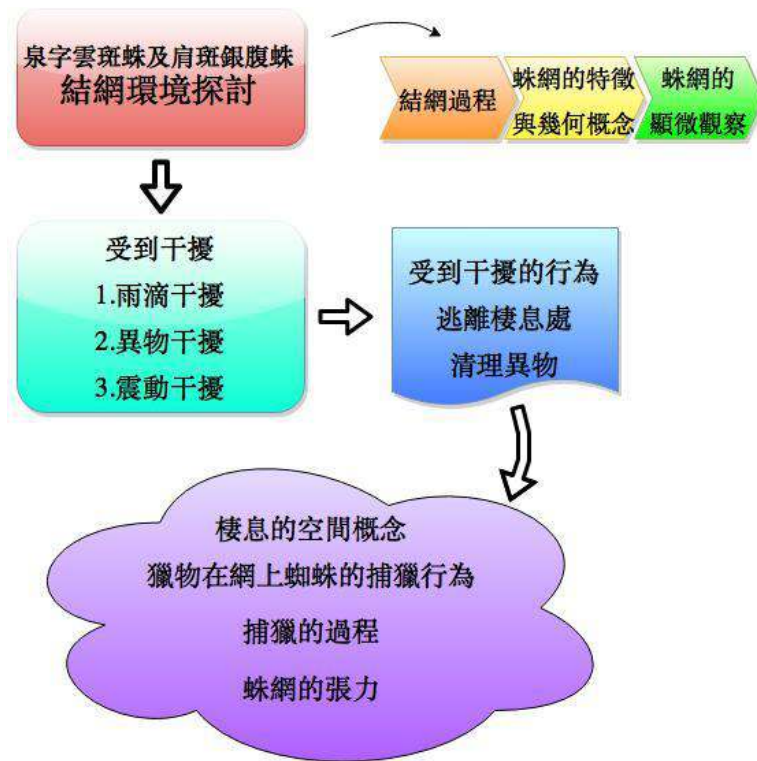
☆ 代表肩斑銀腹蛛

## 參、 研究設備與器材

冰棒棍、膠帶、量角器、複式顯微鏡、果蠅、相機、直尺、分析天秤、試管夾、灑水器

## 肆、 研究方法

### 一、 研究架構圖：



### 二、 文獻探討

#### (一) 泉字雲斑蛛(*Cyrtophora moluccensis*)

界	動物界Animalia	雌蛛體長約9~30mm，腹部呈卵形，腹背側肩具突起，腹背為橙色或黃綠色等，上面有5~6條鑲黑邊的白色斑點，雌蛛有護卵的行為，且舊和新的卵囊由上往下連結呈袋狀。雄蛛體型小，頭胸橙紅色，腹背墨綠色具白色斑。分布於低海拔山區，主網呈倒皿狀。
門	節肢動物門Arthropoda	
綱	蛛形綱Arachnida	
目	蜘蛛目 Araneae	
科	金蛛科Araneidae	
屬	雲斑蛛屬 <i>Cyrtophora</i>	
種	泉字雲斑蛛 <i>Cyrtophora moluccensis</i>	



圖2泉字雲斑蛛(雌)

#### (二) 肩斑銀腹蛛(*Leucauge blanda*)

界	動物界Animalia	雌蛛體長8~20mm，雄蛛則約6~10mm，腹背部有2枚黑色斑點，中央有3條縱紋於前端處相連，末端較粗有3對黑色斑點，中央縱帶有八字斑排列，雄蛛體型瘦小，體背橙褐色，腹端具黑色斑，若蛛銀白色，腹端有3枚成對的黑斑。本種主要分布於低海拔山區，網圓型。
門	節肢動物門Arthropoda	
綱	蛛形綱Arachnida	
目	蜘蛛目 Araneae	
科	長腳蛛科Tetragnathidae	
屬	銀腹蛛屬 <i>Leucauge</i>	
種	肩斑銀腹蛛 <i>Leucauge blanda</i>	



圖3肩斑銀腹蛛(雌)

### (三) 蜘蛛絲的類型

蜘蛛網分為牽引絲、縱絲、橫絲以及網眼等區域(如表12)，牽引絲是蜘蛛用於穩固網與其他物體連接的絲，絲的結構最為強韌。縱絲為蜘蛛網的主幹，無黏性，支撐蜘蛛網大多數的構造。橫絲具有黏性，用以捕獵。網眼為蜘蛛棲息的位置，無黏性且為空心圓(如表12)。

## 三、實驗流程及步驟

### (一) 結網環境研究的方式

調查泉字雲斑蛛及肩斑銀腹蛛所在地的植物種類、位置與型態，紀錄蛛網上方是否有遮蔽物，測量蛛網離地的高度、網本身的長(L)、寬(W)、高(H)並作分析，另外記錄野生網的頂點數目以及頂點與支撐物體連接角度。

### (二) 結網過程的研究

至野外尋找泉字雲斑蛛和肩斑銀腹蛛，觀察其結網過程、利用手繪的方式記錄蜘蛛結網的順序及方法，並測量蜘蛛的體長，此外計算蛛網的長(L)、寬(W)、高(H)。

### (三) 蛛網的特徵及幾何概念

紀錄野生蜘蛛網離地的高度、網的長(L)、寬(W)、高(H)作分析，並且記錄野生蛛網的頂點數目以及頂點與物體連接角度，並拍下蛛網的形式和外型。

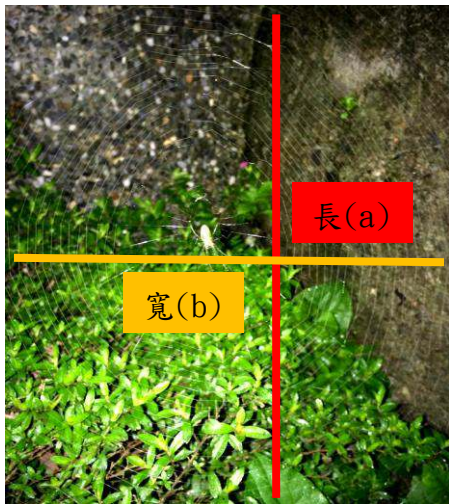


圖4 野生肩斑銀腹蛛蛛網  
紅色為蛛網長(a);橘色為蛛網寬(b)



圖5 野生泉字雲斑蛛蛛網  
主網部分的長(L)、寬(W)、高(H)

### (四) 蛛網的顯微觀察

1. 為了解蜘蛛絲的顯微構造，我們利用吸管自製取絲的工具，以順利的取絲，並且不傷害蜘蛛原本的網狀部份；我們先將吸管的前端使用剪刀剪成鋸齒狀以方便取絲，自製取絲器構造如圖6所示，取絲方式如表1、2：

將取絲器靠近蛛絲並轉動，將絲纏繞於吸管上，纏繞適合長度後剪斷帶回。並將絲放置於複式顯微鏡下觀察且加以拍攝縱絲、橫絲以及非主網的部份，觀察不同蜘蛛絲的差別。



圖6自製取絲器



表1 泉字雲斑蛛蛛絲採集流程圖			表2 肩斑銀腹蛛蛛絲採集流程圖		
					

## 2. 蛛網的張力

為了解蜘蛛絲的張力，我們使用分析天秤測量縱絲、橫絲以及非主網的張力，並為了以相似速率拉動蛛絲，我們使用複式顯微鏡的載物臺及粗調節輪製成簡易的拉絲裝置，取絲時先測量絲的長度，為測量準確張力我們將絲延伸至絲原長的百分之二十，以免破壞絲本身的結構，測量絲張力的構造如圖7所示：

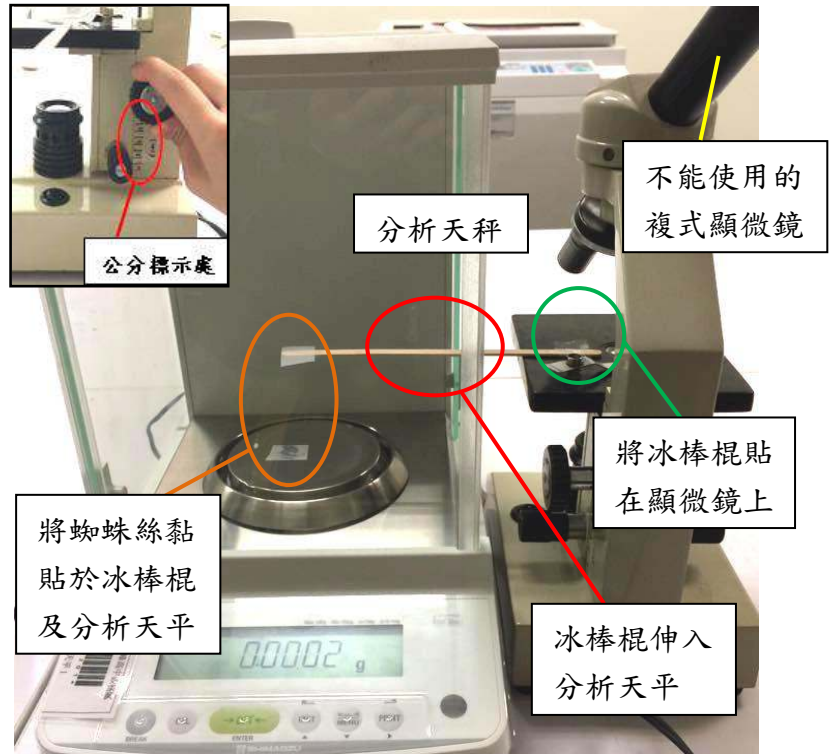





圖 7 簡易拉絲裝置

表 3 蛛絲張力測量方式

(1) 以取絲器取一條大約6.5公分的絲	(2) 將絲的兩端分別黏於分析天秤及拉絲器上	(3) 將分析天秤歸零	(4) 轉動粗調節輪	(5) 錄影及記錄數據
				

## (五) 探討泉字雲斑蛛及肩斑銀腹蛛棲息位置與捕獵行為

### 1. 棲息的空間概念

為了解泉字雲斑蛛及肩斑銀腹蛛棲息在網中的位置，我們每天紀錄三次蜘蛛在網中的位置分布，三次的時間分別為早上八點，中午十二點半，下午五點，觀察蜘蛛在網中的位置。紀錄蜘蛛在蜘蛛網上的座標，並測量蜘蛛的體型大小。

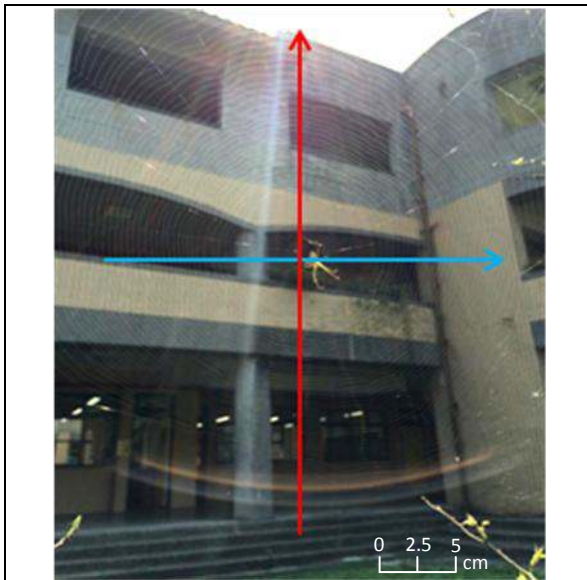


圖8 肩斑銀腹蛛蛛網X、Y軸示意圖

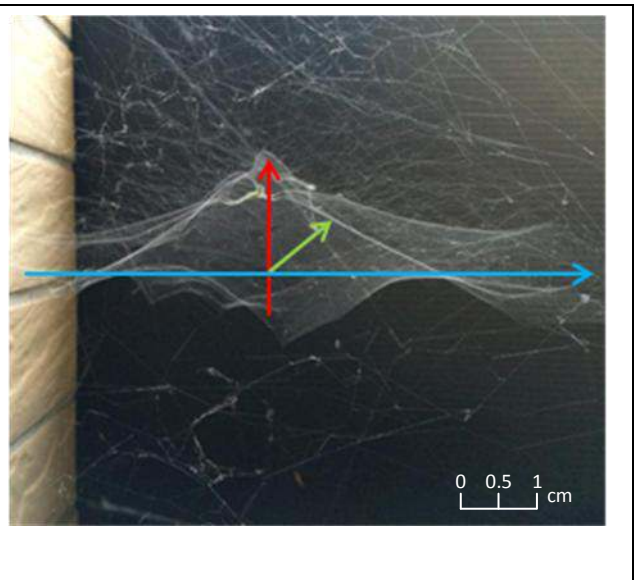


圖9 泉字雲斑蛛蛛網X、Y、Z軸示意圖

## 2. 捕獵的過程

我們將殘翅果蠅放入蛛網中，距離蜘蛛位置3公分，使用相機攝影捕食全程，並且紀錄蜘蛛的動作、抵達獵物所需的時間、纏繞獵物所需時間、以及進食完畢總時間，並記錄進食結束後蜘蛛停留的位置。

## 3. 獵物在網上蜘蛛的捕獵行為

### (1) 獵物在蛛網上的不同位置

我們將無翅果蠅放置在距離蜘蛛3cm的上、下、左、右方，觀察及記錄蜘蛛捕獵的動作，記錄蜘蛛抵達獵物所需的時間、纏繞獵物所需時間、以及進食完畢總時間，並記錄進食結束後蜘蛛停留的位置，以比較不同方位蜘蛛捕食獵物的差異性。

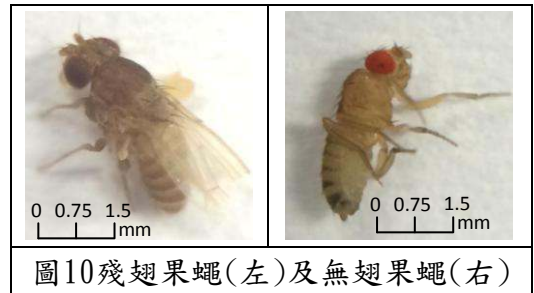


圖10殘翅果蠅(左)及無翅果蠅(右)

### (2) 不同類型獵物蜘蛛捕獵行為的差異性

研究中我們使用兩種不同的果蠅，其一為無翅果蠅，因為沒有翅膀所以只能行走，行動力較差；其二為殘翅果蠅，雖有翅膀，但並不能飛行，不過行動力仍較無翅果蠅佳。將兩種果蠅放置在距離蜘蛛3cm處，記錄蜘蛛的動作、抵達獵物所需的時間、纏繞獵物所需時間、以及進食總時間，並記錄進食結束後蜘蛛停留的位置。

## (六) 研究泉字雲斑蛛及肩斑銀腹蛛受干擾的行為模式

### 1. 雨滴干擾

為了解雨滴對於蜘蛛的影響，我們使用噴霧器噴蜘蛛網，進行實驗前先噴灑在燒杯中以測試噴水水量多寡，我們以相同的水量噴於蛛網，觀察蜘蛛的反應，若蜘蛛無任何反應就繼續噴灑，記錄蜘蛛的動作、移動的方向，移動的距離、蜘蛛網的狀況和噴水的次數，實驗情形如圖11所示：



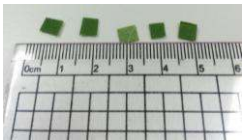


圖11 噴水實驗


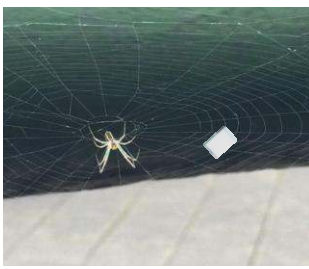
### 2. 異物干擾

在野外網子上有時會出現一些非獵物的物品，包含葉子、泥土、或其他物質，為觀察蜘蛛對於異物的反應，我們以葉片碎片、自製碎紙片、杜鵑花花瓣(25mm<sup>2</sup>)代表掉落到蜘蛛網上的異物，放置離蜘蛛3公分處，觀察並且將蜘蛛行為錄影5分鐘，並記錄蜘蛛的



動作、移動的方向，移動的距離、蛛網的狀況、抵達異物的時間、處理異物的方式。

		
葉片碎片	自製碎紙片(25mm <sup>2</sup> )	杜鵑花花瓣

		
距蜘蛛三公分處放置葉片	距蜘蛛三公分處放置碎紙片	距蜘蛛三公分處放置花瓣

由於蜘蛛對於自製的紙屑反應較佳，因此我們丟入泉字雲斑蛛的蛛網異物只使用紙屑。泉字雲斑蛛的蛛網有障礙網，當我們將紙屑丟入障礙網後，泉字雲斑蛛沒有任何反應，因此我們使用線香將主網上方的障礙網燒去一部分，以利我們丟紙屑進入主網中。

	
---	--

### 3. 震動干擾

為了解震動對於蜘蛛的影響，我們使用試管夾震動蜘蛛牽引絲，觀察並記錄蜘蛛的動作、移動的方向，移動的距離、蜘蛛網的狀況。

## 伍、 研究結果

### 一、 觀察泉字雲斑蛛及肩斑銀腹蛛結網的特性

#### (一) 結網環境的研究

我們觀察野外蜘蛛的結網環境，泉字雲斑蛛分布的位置大多於植物的頂端(如表 7);肩斑銀腹蛛大多分布在樹枝間以及杜鵑花叢中，在花台和草皮上也都可以看到(如




		
教室外陽台	矮樹叢中	樹梢

表 9)。

以矮樹叢為例，泉字雲斑蛛分布的狀況如下圖所示：



為了瞭解泉字雲斑蛛在不同環境的分布狀態，我們將環境分類，如表 8 所示：

表 8 泉字雲斑蛛在校園中的結網分布狀態(樣本數為 25, 表內數字代表蜘蛛網的數目)

環境種類	喬木	灌木	草叢	向光面	背光面	葉縫間	莖之間	植物頂端	植物中間	植物底部	牽引絲位置
矮樹叢		13		13		1	14	7	4	2	樹枝及樹葉
樹		7		7			7	7			樹枝
草叢		5		5			5	5			莖及葉

泉字雲斑蛛在多種植物都可以結網，蛛網上沒有遮蔽物，偏好在植物頂端及向光處結網，牽引絲多，障礙網在主網的周圍，障礙網的形狀不一，保護斗笠型圓錐立體網。

表 9 肩斑銀腹蛛結網地點及狀況			
			
大花咸豐草	杜鵑花叢	教室外樹枝	花台內

以樹梢為例，肩斑銀腹蛛分布的狀況如下圖：



為了瞭解肩斑銀腹蛛在不同環境的分布狀態，我們將環境分類，如表 10 所示：

表 10 肩斑銀腹蛛在校園中的結網分布狀態(樣本數為 27, 表內數字代表蜘蛛網的數目)

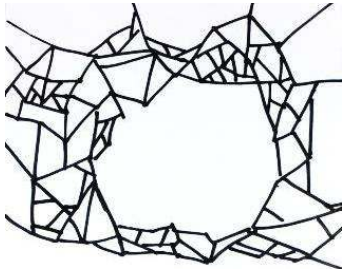
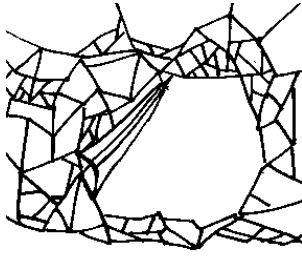
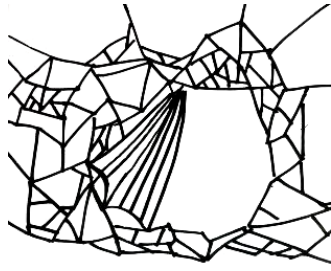
植物種類	喬木	灌木	草叢	向光面	背光面	葉縫間	莖之間	植物頂端	植物中間	植物底部	牽引絲位置
大花咸豐草			4	4			2		2		莖
樹	6			6			6				樹枝
杜鵑花		16		16		10		6			花莖
酢醬草			1	1			1				莖及葉

肩斑銀腹蛛在多種植物都可以結網，蛛網上沒有遮蔽物，偏好在植物頂端及向光處結網，牽引絲多會連接周圍葉片，以固定平面圓形主網。

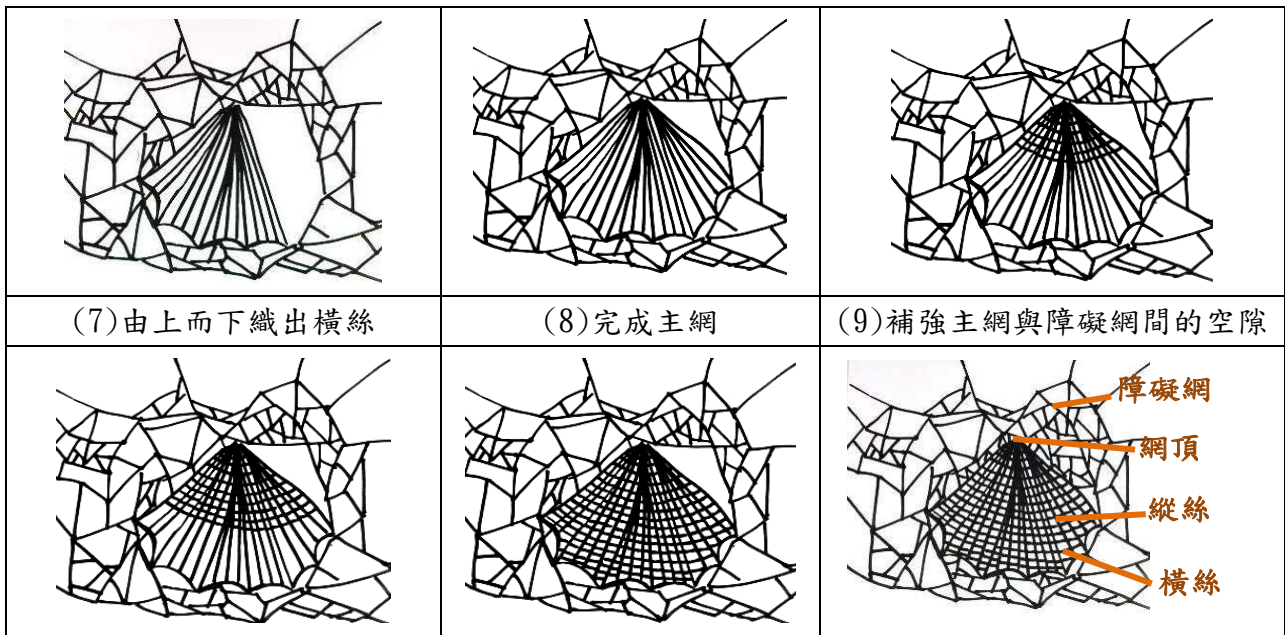
## (二) 結網過程的研究

1. 泉字雲斑蛛的網為立體網，主網還有障礙網保護，過程如表 11 所示：

表 11 泉字雲斑蛛結網過程

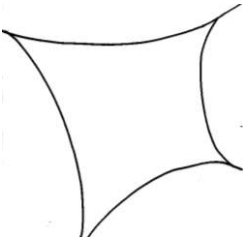
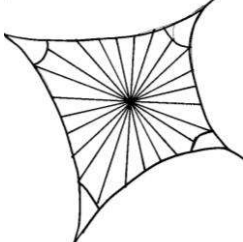
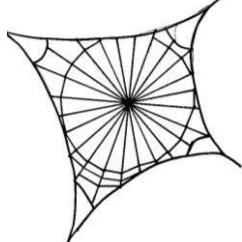
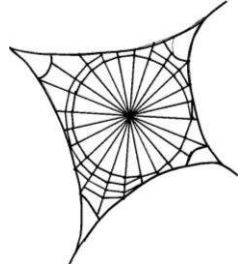
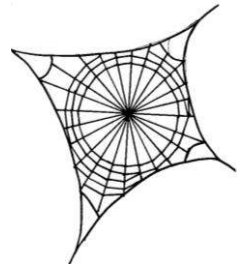
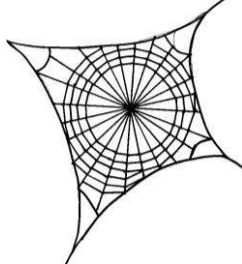
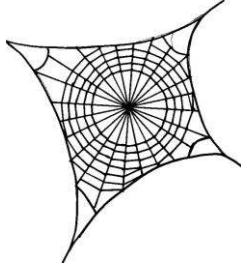
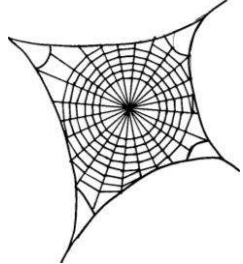

(1) 於附近物體固定並結出障礙網，同時空下主網的空間	(2) 由上而下結出縱絲	(3) 由上而下結出縱絲
		
(4) 由上而下結出縱絲	(5) 完成縱絲	(6) 由網頂而下織出橫絲





2. 肩斑銀腹蛛結的網為平面空心圓網，過程如表 12 所示：

表 12 肩斑銀腹蛛結網過程

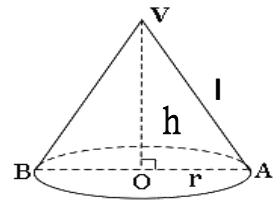
(1)將絲固定於物體上結出框架	(2)織出無黏性的縱絲	(3)結出無法完全連接的橫絲
		
(4)織出完整一圈的橫絲	(5)橫絲由外而內，由上而下的織法環繞一圈	(6)橫絲由外而內，由上而下的織法環繞一圈
		
(7)橫絲由外而內，由上而下的織法環繞一圈	(8)橫絲由外而內，由上而下的織法環繞一圈	(9)外圈的橫絲完成後，隔一段距離後織出網眼
		

## 二、探討泉字雲斑蛛及肩斑銀腹蛛蛛網特徵

(一) 蛛網的特徵及幾何概念

1. 泉字雲斑蛛

泉字雲斑蛛的網為圓錐形，且其網底為圓形，可視為正圓錐。  
正圓錐為一個直角三角形繞其中一條直角邊旋轉一周得到的幾何體，此直角三角形的斜邊為圓錐的母線。



※體積的計算：設圓錐的底面圓半徑為  $r$ ，圓錐的高為  $h$ ，底面圓面積為  $S$ ，體積為  $V$ ，圓錐體的體積可以通過以下公式計算： $V = \frac{1}{3}Sh = \frac{1}{3}\pi r^2 h$ 。 ※圓錐底面積的計算： $S = \pi r^2$ 。

※圓錐側面積及表面積計算：正圓錐的側面可以展開為平面上的一個扇形。這個扇形所在的圓半徑就是圓錐的斜高，對應的圓弧長為底部圓形的周長。設圓錐的斜高為  $l$ ，斜高可以表示為： $l = \sqrt{r^2 + h^2}$ ；設圓錐的表面積為  $S_t$ ，側面積為  $S_c$ ，側面積（也就是扇形的面積）可以用以下公式計算： $S_c = \pi r l = \pi r \sqrt{r^2 + h^2}$ ；表面積等於側面積與底面圓面積的和，也就是： $S_t = S + S_c = \pi r^2 + \pi r l = \pi r(r + l) = \pi r(r + \sqrt{r^2 + h^2})$ 。

※圓錐底面積與斜高的夾角計算： $h/(OB) = \tan \theta$ ，對照  $\tan$  角度表，求出  $\theta$  角度的大小。

表 13 泉字雲斑蛛蛛網的形質、蛛網離地高度、蜘蛛體長及結網環境(單位：公分)

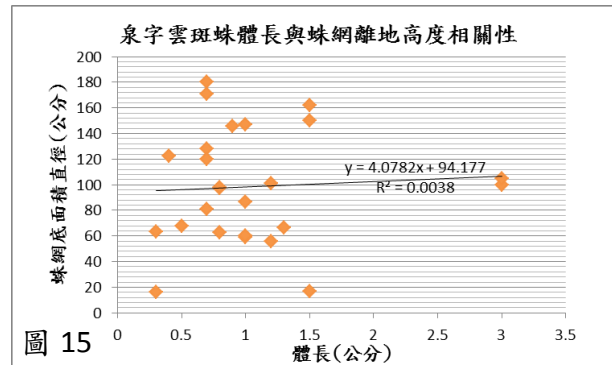
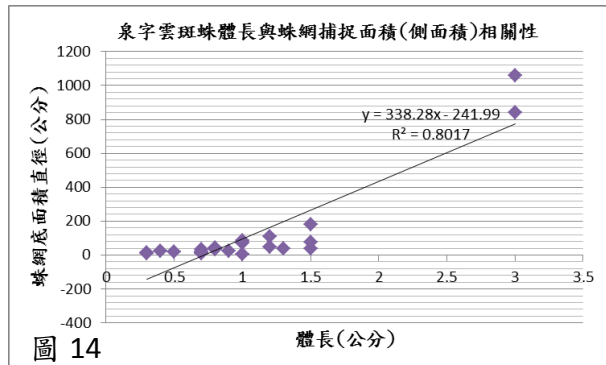
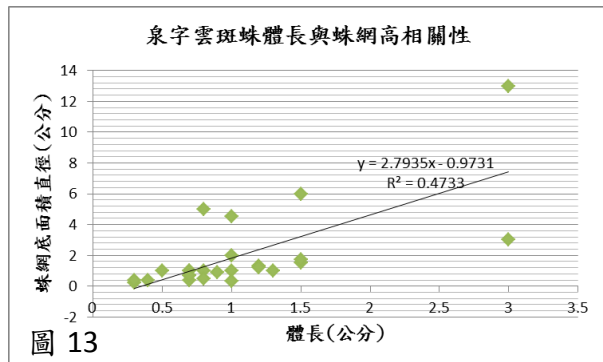
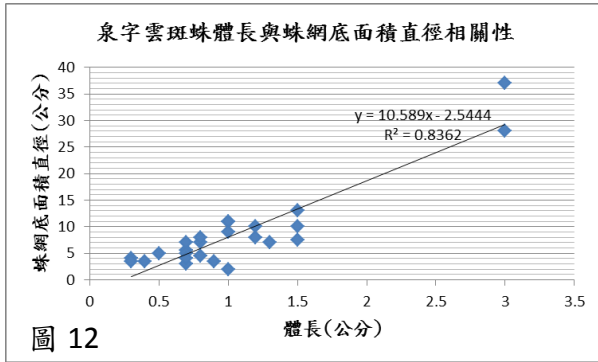
樣本數	蛛網長 (cm)	蛛網寬 (cm)	蛛網高 (cm)	離地高度 (cm)	體長不含腳 (cm)	體長含腳 (cm)	有無遮蔽物	結網環境	體積(V)	底面積(S)	斜高(L)	表面積(St)	側面積(Sc)	tan	圓錐內部底面積與斜高夾角	圓錐底部面積與地面傾斜角度	圓錐高與底面積半徑比值
1	13	13	6	17	0.4	1.5	無	教室陽台	265.33	132.665	8.845903	313.20988	180.54488	0.923077	42.67	18	0.9231
2	28	27	13	100	0.8	3	無	教室三樓外牆	2666.907	615.44	19.104973	1455.29462	839.854621	0.945455	43.36	5	0.9455
3	11	8	1	86.4	0.2	1	無	樹枝	23.61542	70.84625	4.854122	143.245479	72.399229	0.210526	12	0	0.2105
4	5.5	3.5	1	127.8	0.1	0.7	無	樹枝	5.29875	15.89625	2.4622145	33.2917951	17.3955451	0.444444	24	3	0.4444
5	5	4.5	5	63	0.15	0.8	無	樹枝	29.51927	17.711563	5.5353975	58.991789	41.2802265	2.105263	64	0	2.1053
6	11	7	2	59	0.2	1	無	樹枝	42.39	63.585	4.9244289	133.16718	69.5821804	0.444444	24	3	0.4444
7	7	7	1	97	0.3	0.8	無	樹枝	12.82167	38.465	3.6400549	78.4692038	40.0042038	0.285714	16	5	0.2857
8	5	5	0.4	171	0.1	0.7	無	樹枝	2.616667	19.625	2.5317978	39.4996126	19.8746126	0.16	9	15	0.1600
9	4	4	0.2	16	0.05	0.3	無	樹枝	0.837333	12.56	2.0099751	25.1826438	12.6226438	0.1	6	0	0.1000
10	37	36	3	105	0.7	3	無	水池旁	1045.816	1045.8163	18.494932	2105.66831	1059.85206	0.164384	9	14	0.1644
11	7.5	5.5	1.5	150	0.3	1.5	無	金露花樹上	16.58313	33.16625	3.5794553	69.694591	36.528341	0.461538	25	0	0.4615
12	7	6	1	120	0.25	0.7	無	金露花樹上	11.05542	33.16625	3.4003676	67.8670016	34.7007516	0.307692	17	0	0.3077
13	7	6.5	1	66.5	0.3	1.3	無	水溝蓋上方植物	11.92219	35.766563	3.520032	73.0701012	37.3035387	0.296296	17	0	0.2963
14	5	4	1	68	0.15	0.5	無	水溝蓋上方植物	5.29875	15.89625	2.4622145	33.2917951	17.3955451	0.444444	24	0	0.4444
15	2	1.5	0.3	60	0.3	1	無	水溝蓋上方植物	0.240406	2.4040625	0.925	4.9455	2.5414375	0.342857	19	0	0.3429
16	3.5	3	0.4	63.5	0.1	0.3	無	水溝蓋上方植物	1.105542	8.2915625	1.6735068	16.8306309	8.53906843	0.246154	14	0	0.2462
17	8	7.5	1.3	55.5	0.2	1.2	無	水溝蓋上方植物	20.43126	47.149063	4.0872515	96.8806954	49.7316329	0.335484	18.5	13	0.3355
18	3	2.5	2.5	81	0.2	0.7	無	花園	4.947135	5.9365625	2.8531781	18.2551587	12.3185962	1.818182	14	0	1.8182
19	4	3.5	3.5	122.4	0.1	0.4	無	花園	12.87891	11.039063	3.970595	34.4159408	23.3768783	1.866667	65	0	2.1333
20	3.5	3.5	3.5	145.5	0.15	0.9	無	花園	11.21896	9.61625	3.913119	31.1188387	21.5025887	2	64	0	2.0000
21	9	8.5	4.5	146.7	0.25	1	無	花園	90.15234	60.101563	6.2761951	146.320793	86.2192303	1.028571	45	0	1.0286
22	10	7	7	101.2	0.2	1.2	無	花園	132.3379	56.71625	8.1891697	166.000719	109.284469	1.647059	9	0	1.6471
23	8	5	0.5	98	0.2	0.8	無	花園	5.527708	33.16625	3.2882366	66.7227046	33.5564546	0.153846	8.5	0	0.1538
24	10	9	1.7	162	0.4	1.5	無	花園	40.14621	70.84625	5.0450471	146.093127	75.2468771	0.357895	19.5	0	0.3579
25	4	3	0.7	180	0.1	0.7	無	花園	2.243792	9.61625	1.8848077	19.9732682	10.3570182	0.4	22	0	0.4000

泉字雲斑蛛的網為圓錐形，從表 13 可以發現圓錐底部的長寬很相近，我們將測量的網加以分類，將蛛網長/蛛網寬，以此判斷跟圓形的相似狀況，結果如表 14，顯示有 22 個蜘蛛網的蛛網長/蛛網寬都接近 1，而比值超過 1.5 的蛛網僅 3 個，觀測後發現，這 3 個蛛網都位於電線桿旁及花園中，這兩處人工種植的植物疏密程度不一，推測有些泉字雲斑蛛就環境將網底部的形狀作些微的變化，而偏離圓形。

表 14 泉字雲斑蛛蛛網底的長/寬不同比值的個數

長/寬	1-1.5	1.5-2.0
蛛網數目	22	3

我們想了解泉字雲斑蛛體型與蜘蛛網各部位形質是否有相關性，如圖 12~15 所示：



線性迴歸分析顯示，泉字雲斑蛛的圓錐網底面積直徑的大小與體長呈正相關，相關係數高達 **0.8362**；而圓錐網的高與體長也呈正相關，相關性比較低。我們將它的網利用正圓錐形求出捕蟲的有效面積，主網的部分為圓錐側面積，也就是扇形的部分。進一步將泉字雲斑蛛體型與捕捉面積進行分析，如圖 14 呈正相關，顯示體型大的蜘蛛結的網較大。我們也比較泉字雲斑蛛離地高度與體長的相關性，由圖 15 中發現離地高度與體長相關性小。

我們採樣的地點共七處，取三個區域進行比較，包含花圃、樹枝及水溝蓋，統計發現蛛網離地高度：花圃>樹枝>水溝蓋，進一步整理選擇不同植株的泉字雲斑蛛體型大小，如表 15：從表 15 發現體型較小的蜘蛛多選擇電線桿或水溝蓋附近，體型較大的多選擇花圃。

## 2. 肩斑銀腹蛛

肩斑銀腹蛛的網為平面的橢圓網，因此我們使用橢圓形的計算方法，以推測其蛛網面積。

橢圓的定義： $\overline{PF_1} + \overline{PF_2} = 2a$ , ( $2a > \overline{F_1F_2}$ )

\*橢圓形方程式為： $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ , a 為橢圓形長軸，

b 為短軸，F 為橢圓形焦點，可藉  $a^2 = b^2 + c^2$ ，計算焦點的位置。

\*橢圓形周長(L)公式： $L = 2\pi b + 4(a-b)$

\*面積公式： $S = \pi ab$

我們利用橢圓形公式計算肩斑銀腹蛛的蜘蛛網面積、周長及焦點位置如表 16 所示：

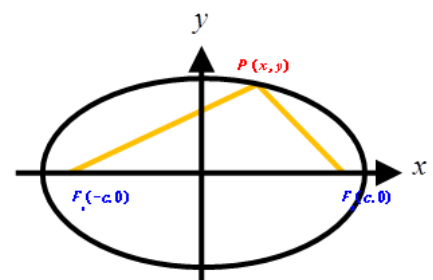


表 15 泉字雲斑蛛在不同環境結網數目

	樹枝	水溝蓋上方	花圃
樣本數	7	5	8
蜘蛛體長	0.76	0.86	0.93



表 16 肩斑銀腹蛛蛛網的形質、蛛網離地高度、蜘蛛體長及結網環境(單位：公分)

樣本數	蛛網長	蛛網寬	離地高度	體長不含腳	體長含腳	遮蔽物	結網環境	a長軸	b短軸	a/b	L蛛網周長	C焦點	S面積
1	43	41	120	0.4	2.3	無	樹枝	21.5	20.5	1.04878	132.74	6.480741	1383.955
2	65	60	135	0.6	3	無	樹枝	32.5	30	1.083333	198.4	12.5	3061.5
3	47	44	30	0.4	2.5	無	酢醬草	23.5	22	1.068182	144.16	8.261356	1623.38
4	31	23	40	0.3	1	無	大花咸豐草	15.5	11.5	1.347826	88.22	10.3923	559.705
5	15	13	88	0.5	3	無	大花咸豐草	7.5	6.5	1.153846	44.82	3.741657	153.075
6	17	14	83	0.4	2.4	無	大花咸豐草	8.5	7	1.214286	49.96	4.821825	186.83
7	36	26	57	0.6	3.2	無	花臺	18	13	1.384615	101.64	12.4499	734.76
8	19	17	47	0.3	1.7	無	花臺	9.5	8.5	1.117647	57.38	4.242641	253.555
9	50	40	138	0.3	1.5	無	樹枝	25	20	1.25	145.6	15	1570
10	26	19	13	0.3	1	無	杜鵑花叢	13	9.5	1.368421	73.66	8.87412	387.79
11	29	14	7	0.3	1.3	無	杜鵑花叢	14.5	7	2.071429	73.96	12.69843	318.71
12	16.5	13.5	9	0.3	1	無	杜鵑花叢	8.25	6.75	1.222222	48.39	4.743416	174.8588
13	36	23.5	13	0.4	1.5	無	杜鵑花叢	18	11.75	1.531915	98.79	13.63589	664.11
14	73	58	50	0.6	2	無	大花咸豐草	36.5	29	1.258621	212.12	22.16416	3323.69
15	51	41.5	35	0.5	2	無	杜鵑花叢	25.5	20.75	1.228916	149.31	14.82186	1661.453
16	47	30	17	0.4	1.5	無	樓梯扶手	23.5	15	1.566667	128.2	18.09005	1106.85
17	48	19	20	0.3	1	無	杜鵑花叢	24	9.5	2.526316	117.66	22.03974	715.92
18	52	36	35	0.4	1.5	無	杜鵑花叢	26	18	1.444444	145.04	18.76166	1469.52
19	60	18	30	0.4	1.3	無	杜鵑花叢	30	9	3.333333	140.52	28.61818	847.8
20	30	25.5	16	0.3	1	無	杜鵑花叢	15	12.75	1.176471	89.07	7.90174	600.525
21	23.5	17	14	0.3	1.3	無	杜鵑花叢	11.75	8.5	1.382353	66.38	8.11249	313.6075
22	32.5	21	17	0.5	2	無	杜鵑花叢	16.25	10.5	1.547619	88.94	12.40212	535.7625
23	63	25.5	19	0.4	1.5	無	杜鵑花叢	31.5	12.75	2.470588	155.07	28.8043	1261.103
24	45	43	20	0.4	2	無	杜鵑花叢	22.5	21.5	1.046512	139.02	6.63325	1518.975
25	63	27	20	0.5	2	無	杜鵑花叢	31.5	13.5	2.333333	156.78	28.4605	1335.285
26	69.5	55	40	0.4	2	無	杜鵑花叢	34.75	27.5	1.263636	201.7	21.24412	3000.663
27	50.5	45	25	0.4	2	無	杜鵑花叢	25.25	22.5	1.122222	152.3	11.45917	1783.913

肩斑銀腹蛛的蛛網多結於開放的空間，且蛛網上方沒有遮蔽物，肩斑銀腹蛛的網子形狀為平面空心圓網，然而有些網接近圓形，有些網接近橢圓形，我們將測量的網加以分類，將長軸/短軸，以此判斷跟圓形的相似狀況，結果如表 17 所示：

經過統計會發現有 19 個蜘蛛網的 a/b 都接近 1(如圖 16)，顯示取樣中的肩斑銀腹蛛網都較接近圓形。而比值超過 2.5 的橢圓形都在杜鵑花叢，觀測後發現，學校警衛室旁杜鵑花叢種植的疏密程度不一，推測有些肩斑銀腹蛛會就環境將網子的形狀作變化，而偏離圓形。

表 17 肩斑銀腹蛛圓網的長軸/短軸(a/b)不同比值的個數

a/b	1-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5
蛛網數	19	3	3	1	1

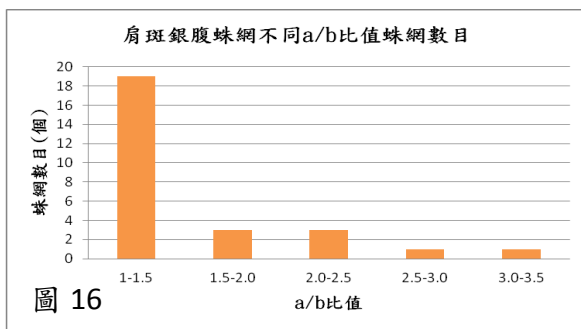


圖 16

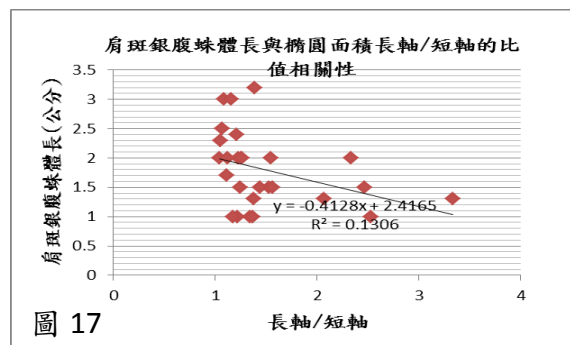


圖 17

除此之外，我們也想要了解偏離圓形的蜘蛛網與蜘蛛的體型是否有相關性，如圖 17，雖然相關性較低，不過偏離圓形的蛛網體型似乎比較小，推測體型小的蜘蛛年紀也比較小，也

有可能是經驗較不足，織的網較偏離圓形。

我們取三個肩斑銀腹蛛結網的區域進行比較，包含杜鵑花叢、大花咸豐草、樹枝，統計發現蛛網離地高度：樹枝>大花咸豐草>杜鵑花叢(如圖 18)，與植株的高度一致，我們整理體型與肩斑銀腹蛛選擇植株的相關性，如表 18。從表 18 可以發現選擇杜鵑花叢的為體型較小的蜘蛛，而選擇另外兩種比較高的植株則為體型較大的蜘蛛。

我們想了解肩斑銀腹蛛體型與蜘蛛網各部位形質是否有相關性，如圖 19~22 所示：

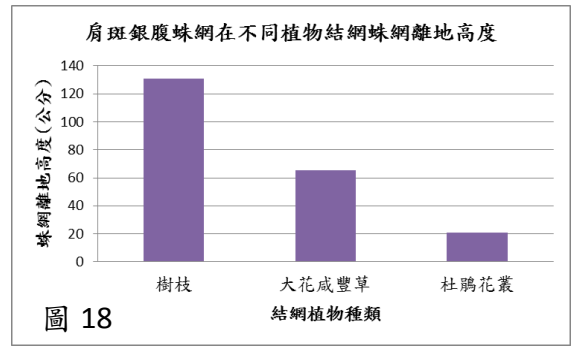


表 18 肩斑銀腹蛛在不同植株結網的數目

植物種類	樹枝	大花咸豐草	杜鵑花叢
樣本數	3	4	15
蜘蛛體長	2.27	2.47	2.00

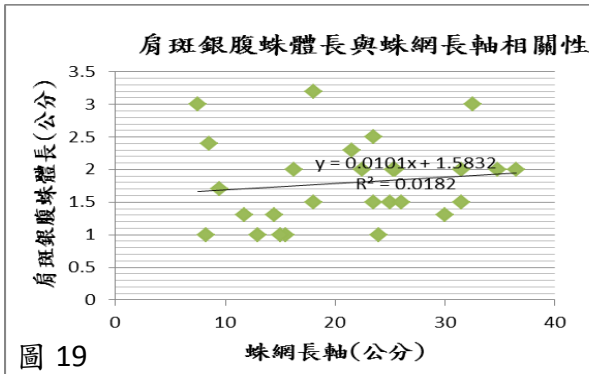


圖 19

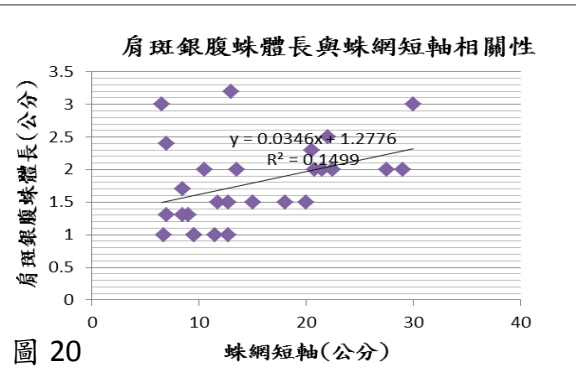


圖 20

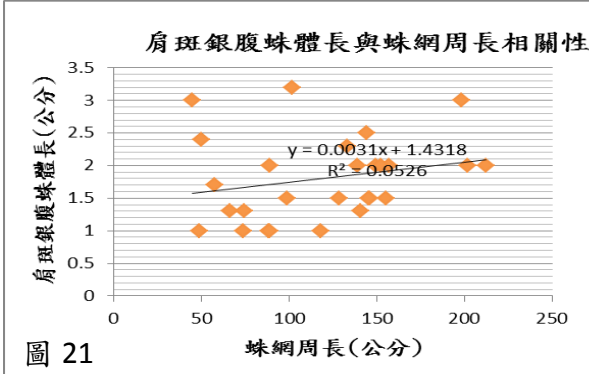


圖 21

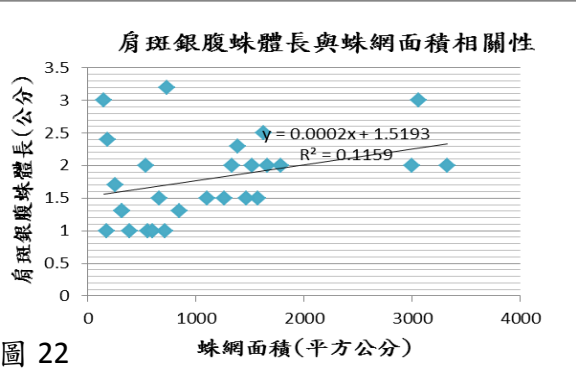


圖 22

從分析圖表顯示肩斑銀腹蛛的蛛網各部位形質與體型雖有相關，但相關性不高。進一步分析杜鵑花叢中肩斑銀腹蛛的結網大小與體型的相關性，如圖 22 小型肩斑銀腹蛛的體型大小與網面積相關性不高。

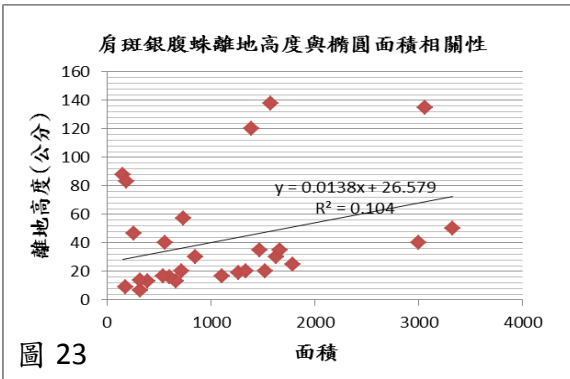


圖 23

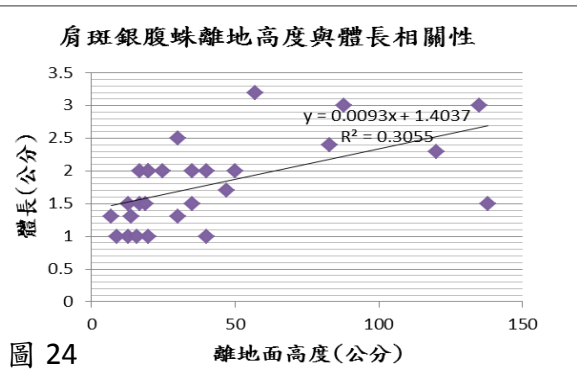
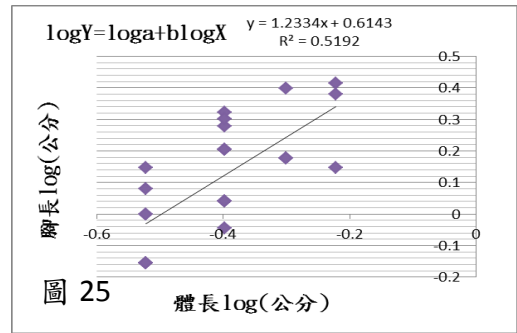


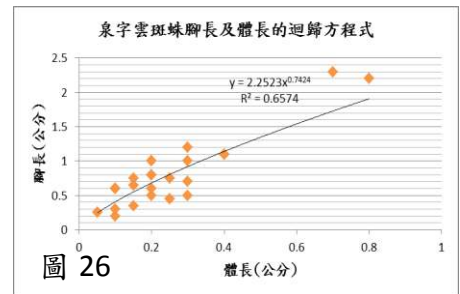
圖 24

由圖 23 中可發現離地高度與面積雖呈正相關，但相關性較小；由圖 24 中發現離地高度與體長的相關性較大，顯示體型大的肩斑銀腹蛛會在離地較高的地點結網。

實驗中測量肩斑銀腹蛛的體長(不含腳長)及腳長,發現肩斑銀腹蛛的的腳長>體長,取樣中的肩斑銀腹蛛體長/腳長=0.237,其體長與腳長的生長速度不同,也就是異速生長。異速生長方程式為 $y=ax^b$ ,令 $y=ax^b \rightarrow \log y = \log a + b \cdot \log x$ ,將兩邊取以10為底數的對數。設體長為 $x$ 、腳長為 $y$ ,依照函數關係 $y = ax^b$ 進行分析,再使用 Excel,將兩數取10為底數的對數,做出 $\log X$ 、 $\log Y$ 的迴歸直線圖(如圖 25),其中計算直線方程式與 $R^2$ 值,並求出 $a$ 、 $b$ 值。計算出異速生長方程式為 $y=4.106x^{1.2334}$ , $a=4.106$ 、 $b=1.2334$ 、 $R^2=0.5192$ ,因 $b>1$ ,顯示腳的成長相對快速。



我們測量泉字雲斑蛛的體長(不含腳長)及腳長,發現泉字雲斑蛛的腳長>體長,取樣中的蜘蛛體(不含腳長)/腳長=0.305,利用迴歸分析計算方程式,曲線圖如圖 26,求出異速生長方程式為 $y=2.2523x^{0.7424}$ , $a=2.2523$ 、 $b=0.7424$ 、 $R^2=0.6574$ ,因 $b<1$ ,顯示腳長成長速度並沒有比較快速。



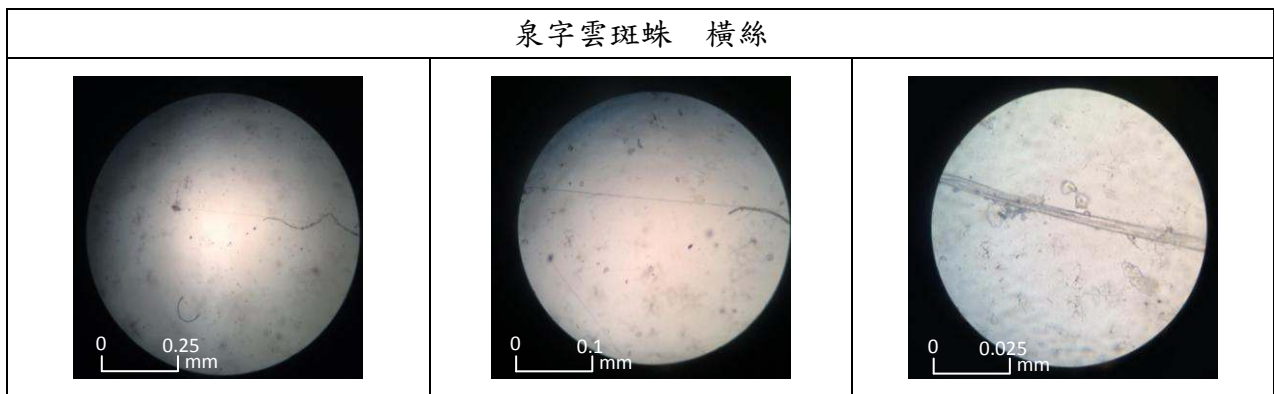
(二) 蛛網的顯微觀察

我們利用複式顯微鏡觀察放大 40、100、400 倍的泉字雲斑蛛的障礙網、縱絲、橫絲;肩斑銀腹蛛的縱絲、橫絲。

1. 泉字雲斑蛛：從顯微鏡中觀察到三種蛛絲的粗細為：障礙網>橫絲>縱絲。障礙網在三種絲中最粗，放大至 400 倍時，即可清楚看見一條絲約由 15~20 股絲組成；而橫絲及縱絲的組成則皆為 2~5 股，但橫絲中的每股絲線皆粗於縱絲。

表23泉字雲斑蛛 蛛絲顯微觀察		
放大40倍	放大100倍	放大400倍
泉字雲斑蛛 障礙網		
泉字雲斑蛛 縱絲		





2. 肩斑銀腹蛛：肩斑銀腹蛛兩種絲的粗細為：縱絲>橫絲，在我們的觀察過程中，可明顯看出縱絲較粗，且橫絲非常的細，放大至 40 及 100 倍時，幾乎無法在相片中找到。

表24肩斑銀腹蛛 蛛絲顯微觀察

放大40倍	放大100倍	放大400倍
肩斑銀腹蛛 縱絲		
肩斑銀腹蛛 橫絲		

綜合兩者，共五種蛛絲，由粗而細為：泉字雲斑蛛的障礙網>泉字雲斑蛛的橫絲>肩斑銀腹蛛的縱絲>泉字雲斑蛛的縱絲>肩斑銀腹蛛的橫絲。泉字雲斑蛛投資很多養分在障礙網上，而主網的構造也是相當緊密，網若被破壞通常要花較長時間恢復；相反的肩斑銀腹蛛的蛛網為平面結構，所吐的絲比泉字雲斑蛛細，對於網的付出較少，網若被破壞則可較快修復。

### (三) 蛛網的張力

1. 觀察了兩種不同蜘蛛絲的顯微組成後，再分別測量五種絲的張力各五次，並作平均。

表 25 泉字雲斑蛛及肩斑銀腹蛛蛛網絲的張力(單位：公克)

次數	泉字雲斑蛛障礙網	泉字雲斑蛛縱絲	泉字雲斑蛛橫絲	肩斑銀腹蛛縱絲	肩斑銀腹蛛橫絲
1	3.652	2.0966	3.22575	2.257	1.4096
2	3.5388	2.257	2.6848	2.0392	1.4785
3	3.6333	2.9888	3.0796	2.2134	1.5781
4	3.3061	2.2165	2.9686	2.1529	1.3327
5	3.9146	2.766	3.0796	2.658	1.3776
平均	3.60896	2.46498	3.00767	2.2641	1.4353

根據實際測量的結果，張力大小為泉字雲斑蛛的障礙網 > 泉字雲斑蛛的橫絲 > 泉字雲斑蛛的縱絲 > 肩斑銀腹蛛的縱絲 > 肩斑銀腹蛛的橫絲，與顯微觀察的蜘蛛絲粗細的結果類似，顯示泉字雲斑蛛付出較多的養分結蜘蛛網。

2. 我們實際在校園中量測八個肩斑銀腹蛛的蛛網，我們發現固定蛛網的牽引絲有兩個網為三個，有六個網為四個，因此以四條牽引絲為多數；而肩斑銀腹蛛與水平地面都有夾角；雖然都是平面空心圓網，但是周圍的牽引絲變化很大，因此整個網如果連同牽引絲一起觀察形狀差異大。若以 45 度為分界，有五個網的傾斜角度小於 45 度，有三個網超過 45 度，顯示多數的網比較平貼在水平面。而牽引絲連接的物體材質也以樹葉最多，其次是樹枝，以天然材質為主。此外除編號四和編號五牽引絲連接物體的角度有頂點大於 90 度以外，其他的蛛網連接處角度都小於 90 度。

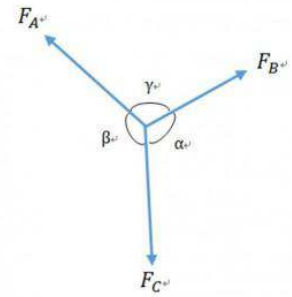


表 26 肩斑銀腹蛛蛛網的傾斜度及牽引絲數目及連接的物體材質夾角

編號	網面傾斜角度	牽引絲數	頂點數	牽引絲連接 物體的材質				牽引絲與固定物夾角			
				a頂點	b頂點	c頂點	d頂點	a頂點	b頂點	c頂點	d頂點
1	65	4	4	葉	葉	葉	樹枝	20	30	30	50
2	30	3	3	葉	鐵桿	鐵桿		10	20	20	
3	40	4	4	鐵桿	鐵桿	葉	塑膠	30	30	25	65
4	50	3	3	葉	樹枝	葉		120	50	55	
5	40	3	4	樹枝	樹枝	樹枝	樹枝	60	60	100	80
6	50	4	4	樹枝	樹枝	樹枝	樹枝	70	80	80	60
7	10	4	4	葉	葉	葉	葉	20	10	0	0
8	20	4	5	葉	葉	葉	葉	60	10	70	0

編號1				編號2			編號3				編號4				
牽引絲間夾角(度)				牽引絲間夾角(度)			牽引絲間夾角(度)				牽引絲間夾角(度)				
AOD	AOB	BOC	COD	BOC	AOC	AOB	AOD	AOB	BOC	COD	BOC	AOC	AOB		
110	70	110	70	164	78	118	90	90	90	90	121	114	125		
長度(公分)				長度(公分)			長度(公分)				長度(公分)				
AD	AB	BC	CD	AB	BC	AC	AD	AB	BC	CD	AB	BC	AC		
29	21.5	39	32	28	28.5	25	19	25	20	25	99	78	77		
編號5				編號6				編號7				編號8			
牽引絲間夾角(度)				牽引絲間夾角(度)				牽引絲間夾角(度)				牽引絲間夾角(度)			
AOD	AOB	BOC	COD	AOD	AOB	BOC	COD	AOD	AOB	BOC	COD	AOD	AOB	BOC	COD
113	67	113	67	90	90	90	90	90	90	90	90	128	52	128	52
長度(公分)				長度(公分)				長度(公分)				長度(公分)			
AD	AB	BC	CD	AD	AB	BC	CD	AD	AB	BC	CD	AD	AB	BC	CD
42	45	36	40	41	50	40	41	16	36	39	40	16	16	35.5	13.5

研究中的編號二、四的蜘蛛網是較特別的三角形網，圓心的夾角也剛好是三個角，剛好符合拉密定律的條件。所謂的拉密定律是指，若三力作用於一物體上，其合力為零，並共點，則任一力的量值與其他兩力夾角之正弦值的比值皆相等。拉密定律公式： $\frac{F_A}{\sin \alpha} = \frac{F_B}{\sin \beta} = \frac{F_C}{\sin \gamma}$

(1) 依照編號二的三個角可以推導出：

依照編號二的牽引絲，AO 及 CO 的牽引絲所承受的力比 BO 來的大，符合我們在實地測量時 A 和 C 兩個牽引絲附著點為空心圓網傾斜的上方而 B 的牽引絲在下方。 $F_{BO} > F_{CO} > F_{AO}$

$$\frac{F_{AO}}{\sin 164} = \frac{F_{BO}}{\sin 78} = \frac{F_{CO}}{\sin 118}$$

$$\rightarrow \frac{F_{AO}}{0.2756} = \frac{F_{BO}}{0.9781} = \frac{F_{CO}}{0.8829}$$

(2) 依照編號四的三個角可以推導出：

依照編號四的牽引絲，AO 及 CO 的牽引絲所承受的力比 BO 來的大，符合我們在實地測量時 A 和 C 兩個牽引絲附著點為空心圓網傾斜的上方而 B 的牽引絲在下方。 $F_{BO} > F_{AO} > F_{CO}$ 。

$$\frac{F_{AO}}{\sin 121} = \frac{F_{BO}}{\sin 114} = \frac{F_{CO}}{\sin 125}$$

$$\rightarrow \frac{F_{AO}}{0.8572} = \frac{F_{BO}}{0.9135} = \frac{F_{CO}}{0.8192}$$

泉字雲斑蛛的障礙網可以減少主網受干擾，錯綜複雜似乎沒有規則，我們測量障礙網高度、長度及寬度的最大值，並以此計算出其障礙網的體積。同時我們還測量了圓錐形主網周圍的七個障礙網的形質，形質的測量位置如表 27：

障礙網形質	形質定義
a	主網底面積圓心與斜上方絲固定點距離
b	主網底部與其中一側的障礙網長度
c	主網底面積圓心與其中一側斜下方絲固定點距離
d	主網底部下方障礙網長度
e	主網底面積圓心與另一側斜下方絲固定點距離
f	主網底部與另一側的障礙網長度
g	主網頂端上方障礙網長度

測量的障礙網形質數據如表 28：

表 28 泉字雲斑蛛障礙網測量的數據(單位：公分)

編號	蜘蛛全長	障礙網長	障礙網寬	障礙網高	障礙網體積	障礙網數據						
						a	b	c	d	e	f	g
1	1	22	20	14.5	6380	5	7.5	11	4.4	10	4	3
2	0.7	9.5	6.5	5	308.75	4	3.5	4	1	4	2	1.5
3	0.8	11	9	14	1386	7	3	5	3.5	3.5	3.5	2.5
4	1	11	9	14	1386	5	4	6	5	5	5	7
5	0.8	10	10	14	1400	7.5	5	6	3	5	4	3
6	0.7	6	6	13.5	486	6	2.5	3	1.5	3.5	3	3
7	0.3	5	5	1	25	1.5	0.7	5	1	5	1	0.5
8	3	58	59	54	184788	14	16	17	24	17	14	16
9	1.5	10	6	9.7	582	12.4	2.3	5	4	5.8	3.7	3.4
10	0.7	7	7.5	9.5	498.75	6	3.5	2.5	3	5	3.5	3.75
11	1.3	11	11.5	12	1518	5.5	5	3	2	3.5	4.5	3.5
12	0.5	6	7	8	336	3.5	3	2.5	2	2.5	3.5	3
13	1	6	4.5	7	189	2	1.5	2.5	1	2.5	1.2	2.5
14	0.3	5	4.8	6.5	156	4	2	2.5	1	3.5	2	3.5
15	1.2	11.5	12	9	1242	3.8	3	4	2	3.5	4	3
16	0.7	4	5	3	60	1	2	1.5	0.3	1.7	1	0.4
17	0.4	5.5	6	4.5	148.5	3.3	2	1.5	1.2	1.5	1.5	2.4
18	0.9	5.7	5.5	3.5	109.725	2.5	2	2	1.5	2.5	2	1.5
19	1	13	12	14.8	2308.8	9	4.5	6	3	4	5	6
20	1.2	8	11.5	7	644	3.5	3	4	4	4	4	3
21	0.8	10	7	11	770	4.5	3	3.5	5	5	4	3
22	1.5	10.5	13	12.5	1706.25	6.5	5.5	5.5	4	4.5	4	5
23	0.7	7	5	8	280	3	2.5	2	2	2	3	2.5
平均	0.96	10.99	10.56	11.13	1290.95	5.24	3.78	4.57	3.45	4.54	3.63	3.61



- (1) 我們整理了障礙網的七個數值，並且將同一軸線及同一區段的數值計算他們的比值，計算後發現如右表的狀況，可以分成三組，他們的比值都接近 1。我們進一步將這七個數值進行線性迴歸分析，如表 29 所示：

表 29 泉字雲斑蛛障礙網 a、b、c、d、e、f、g 七個數值之間的相關性

	b	c	d	e	f	g
a	$y = 0.6503x + 0.3757 \quad R^2 = 0.46$	$y = 0.7319x + 0.7305 \quad R^2 = 0.4617$	$y = 1.0333x - 1.9613 \quad R^2 = 0.4931$	$y = 0.6921x + 0.9173 \quad R^2 = 0.4656$	$y = 0.6189x + 0.3838 \quad R^2 = 0.5872$	$y = 0.7107x - 0.1171 \quad R^2 = 0.5399$
b		$y = 1.0189x + 0.7112 \quad R^2 = 0.8224$	$y = 1.4041x - 1.8589 \quad R^2 = 0.8369$	$y = 0.9563x + 0.9261 \quad R^2 = 0.817$	$y = 0.7817x + 0.6692 \quad R^2 = 0.8611$	$y = 0.8891x + 0.2435 \quad R^2 = 0.7765$
c			$y = 1.183x - 1.9485 \quad R^2 = 0.75$	$y = 0.9021x + 0.4252 \quad R^2 = 0.9178$	$y = 0.6317x + 0.7424 \quad R^2 = 0.7098$	$y = 0.7159x + 0.3382 \quad R^2 = 0.6356$
d				$y = 0.6233x + 2.3918 \quad R^2 = 0.8176$	$y = 0.5222x + 1.8233 \quad R^2 = 0.9053$	$y = 0.6092x + 1.5034 \quad R^2 = 0.8589$
e					$y = 0.6786x + 0.543 \quad R^2 = 0.7263$	$y = 0.7671x + 0.1211 \quad R^2 = 0.6471$
f						$y = 1.1367x - 0.5153 \quad R^2 = 0.9008$
	比值	1.04	1	0.96		

從線性迴歸分析後發現，除了 a 數值與其他數值相關性較小，其他數值之間都是正相關，且相關係數都大於 0.6 以上，其中並以 c 和 e 的相關最高。從結果發現主網圓錐底部固定的兩條絲的長度幾乎相同長度，而上方的固定絲長度則較不規則，與其他數值的相關性小。

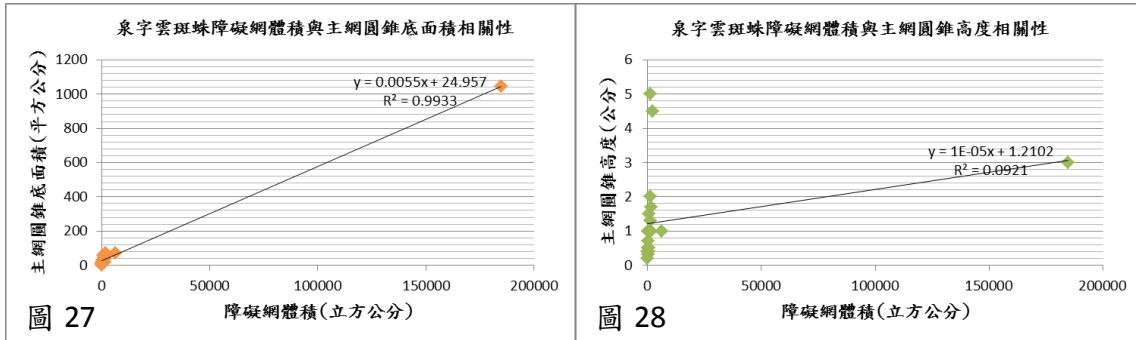
- (2) 我們以測量的障礙網長、寬、高，計算出障礙網的體積，數據如上表所示。為了更了解七個數值與泉字雲斑蛛蛛網的形質比較，我們使用線性迴歸分析了四個形質與七個數值之間的關係，結果如表 30 所示：

表 30 泉字雲斑蛛障礙網七個數值與蛛網其他形質相關性

特徵	障礙網部位	線性迴歸分析	相關係數	特徵	障礙網部位	線性迴歸分析	相關係數
蜘蛛全長	a	$y = 4.1446x + 1.2747$	$R^2 = 0.5217$	主網底面積	a	$y = 0.0095x + 4.5308$	$R^2 = 0.4007$
	b	$y = 4.5895x - 0.6073$	$R^2 = 0.696$		b	$y = 0.013x + 2.8108$	$R^2 = 0.8206$
	c	$y = 4.6958x + 0.0736$	$R^2 = 0.5772$		c	$y = 0.0134x + 3.5632$	$R^2 = 0.6911$
	d	$y = 7.2599x - 3.4921$	$R^2 = 0.7393$		d	$y = 0.0215x + 1.85$	$R^2 = 0.9468$
	e	$y = 4.4631x + 0.2744$	$R^2 = 0.588$		e	$y = 0.0132x + 3.5546$	$R^2 = 0.7591$
	f	$y = 4.0353x - 0.2338$	$R^2 = 0.7582$		f	$y = 0.0111x + 2.8009$	$R^2 = 0.8337$
	g	$y = 4.579x - 0.7734$	$R^2 = 0.6806$		g	$y = 0.0131x + 2.6261$	$R^2 = 0.8205$
主網圓錐高	a	$y = 1.5114x + 3.2743$	$R^2 = 0.3579$	障礙網體積	a	$y = 0.00005x + 4.7857$	$R^2 = 0.3679$
	b	$y = 0.9638x + 2.5297$	$R^2 = 0.1583$		b	$y = 0.00007x + 3.1484$	$R^2 = 0.7832$
	c	$y = 1.2265x + 2.9708$	$R^2 = 0.2031$		c	$y = 0.00007x + 3.9153$	$R^2 = 0.6515$
	d	$y = 1.4675x + 1.5444$	$R^2 = 0.1558$		d	$y = 0.0001x + 2.397$	$R^2 = 0.9202$
	e	$y = 0.761x + 3.5542$	$R^2 = 0.0882$		e	$y = 0.00007x + 3.8962$	$R^2 = 0.7287$
	f	$y = 1.0108x + 2.312$	$R^2 = 0.2454$		f	$y = 0.00006x + 3.0912$	$R^2 = 0.785$
	g	$y = 1.1616x + 2.0965$	$R^2 = 0.2259$		g	$y = 0.00007x + 2.9697$	$R^2 = 0.7758$

從分析的結果發現，主網高度跟此七項數值的相關性小；而蜘蛛的體長與 b、d、f、g 四個形質的相關性大，成正相關；主網的底面積和障礙網的體積與 b、c、d、e、f、g 六個數值相關性高，成正相關，與 a 數值的相關性少。顯示泉字雲斑蛛在建構最外圍的障礙網時會精密的構築 b、c、d、e、f、g 六個形質的大小，使主網底面積左右兩側的障礙網寬度相等；主網底面積下方兩條連接支撐物的絲長度相等；主網上方和主網下方的障礙網長度一致，以此種對稱的方式固定主網的圓錐體結構，而 a 絲線固定上方的支撐點與主網的形狀穩固相關性較小。而泉字雲斑蛛的體型主要和底面積左右兩側的障礙網寬度以及主網上方和主網下方的障礙網長度有關，體型大的泉字雲斑蛛能夠建構 b、d、f、g 四個形質的較大。

(3) 我們也想要知道障礙網的體積與蛛網圓錐網之間是否有相關性，由於主網的圓錐體積是由圓錐高度及圓錐底面積計算得來的，因此我們利用線性迴歸方程式來比較它們之間的相關性，如圖 27、28 所示：



從分析中可以發現泉字雲斑蛛障礙網的體積與主網的底面積相關性高，且呈正相關；與圓錐高度相關性低。顯示泉字雲斑蛛在建構障礙網時以主網的底面積大小為基礎，再去建構周圍的障礙網大小。

我們計算圓錐高/底面積半徑(h/r)，想要了解泉字雲斑蛛的主網圓錐外型及泉字雲斑蛛棲息狀況，計算後再使用 ANOVA 分析，分成三個集群，如表 31，顯示蛛網為比較矮胖形的圓錐，這樣的比值所形成的斜高為捕獵最佳的範圍，推測這可能是泉字雲斑蛛體型大的蜘蛛結大網，體型小的蜘蛛結小網的因素。棲息在圓錐頂點的確是距離任何網的角落為中心的最佳位置。

表 31 h/r 集群統計

	集群		
	1	2	3
每個集群中心點	1.941	0.966	0.303
每個集群樣本數	5	3	17

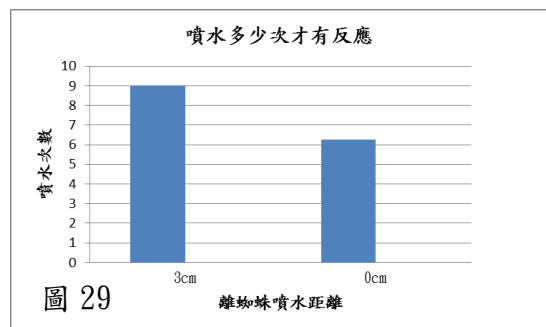
	第一集群泉字雲斑蛛	第二集群泉字雲斑蛛	第三集群泉字雲斑蛛
圓錐體斜長公式： $l = \sqrt{r^2 + h^2}$ ※L 為斜長 ※r 為圓錐底部圓半徑 ※h 為圓錐的高 ※紅色頂點為泉字雲斑蛛棲息處	1. h/r=1.941 2. 到主網任何處皆 < 斜高 2.18	1. h/r=0.966 2. 到主網任何處皆 < 斜高 1.39	1. h/r=0.303 2. 到主網任何處皆 < 斜高 1.04

### 三、受干擾的行為反應

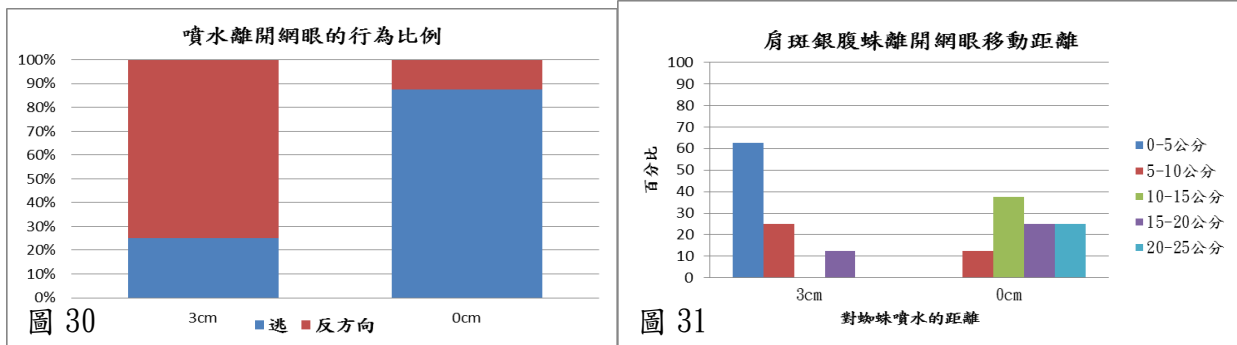
#### (一) 雨滴干擾

##### 1. 肩斑銀腹蛛

我們想要了解在何種情形下肩斑銀腹蛛會離開網眼而去避雨。實驗中都噴了很多次水(如圖 29)，肩斑銀腹蛛才離開網眼，距離三公分噴水的次數比直接噴蜘蛛來的多；此外若距離蜘蛛三公分噴水，蜘蛛會比較的緩慢的往反方向離開，而直接噴蜘蛛



時蜘蛛會往四方亂竄，顯示棲息處的干擾對於肩斑銀腹蛛的影響較大。離開後肩斑銀腹蛛離開網眼的距離以直接干擾網眼的離開距離較遠。離三公分干擾的蜘蛛有 87.5% 雖然離開網眼但依舊在網中；而直接干擾網眼的蜘蛛，實驗蜘蛛每一隻都離開五公分以上。



## 2. 泉字雲斑蛛

我們想要了解在何種情形下泉字雲斑蛛會離開網頂而去避雨，然而泉字雲斑蛛對於距離三公分外水滴沒有反應，所以我們的數據為直接在泉字雲斑蛛身上噴水的實驗為主。

針對泉字雲斑蛛進行四次噴水實驗，平均噴水次數為 1.85 次，會離開圓錐頂端棲息處。離開頂端後會向左側或右側移動，實驗中的泉字雲斑蛛共有十三隻，經過計算後顯示四次噴水實驗向左邊移動的次數為

1.79；向右邊移動的次數為 2.21，不論向右或向左移動的差異都不大，如表 32。

表 32 泉字雲斑蛛噴水多少次後才產生反應(次數)

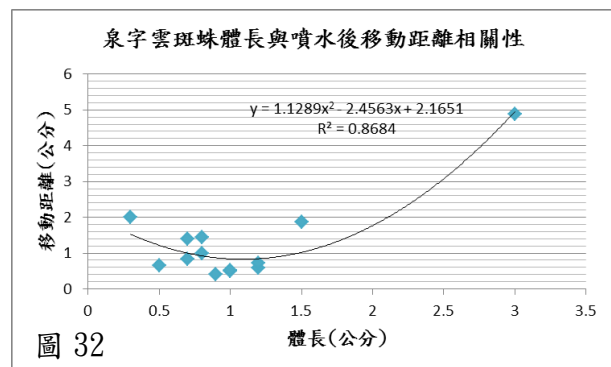
全長	腹長	噴水次數1	噴水次數2	噴水次數3	噴水次數4	平均
1.5	0.3	5	3	1	2	2.75
0.7	0.25	1	2	1	5	2.25
0.5	0.15	1	1	1	1	1
1	0.3	1	1	1	1	1
0.3	0.1	1	1	1	2	1.25
1.2	0.2	1	1	1	1	1
0.7	0.2	1	2	1	1	1.25
0.8	0.15	2	2	1	1	1.5
0.8	0.3	6	6	3	1	4
0.9	0.15	2	1	1	1	1.25
1.2	0.2	1	1	2	4	2
1	0.25	1	1	2	1	1.25
3	0.7	4	2	2	6	3.5
		2.08	1.85	1.38	2.08	1.85

泉字雲斑蛛噴水後的移動距離如表 33 所示，從表中可以發現泉字雲斑蛛移動後依舊待在蛛網中，只有體型較小的編號五會離開自己的主網。

表 33 泉字雲斑蛛噴水後的移動距離(公分)

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
體長	1.5	0.7	0.5	1	0.3	1.2	0.7	0.8	0.8	0.9	1.2	1	3
移動距離	1.875	1.4	0.65	0.5	2	0.58	0.83	1	1.45	0.4	0.73	0.53	4.88
蛛網斜面長度	3.57946	3.4004	2.4622	0.925	1.6735	4.0873	2.85318	5.5354	3.6401	3.9131	10.866	6.2762	18.4949

進一步分析泉字雲斑蛛體長與移動距離的相關性，我們使用多項式的迴歸分析，結果顯示兩者的相關性高。我們發現體型小於 0.3 公分的雲斑蛛以及體型大於兩公分的泉字雲斑蛛移動距離相對於體型 0.5 到 1.5 公分的泉字雲斑蛛來的遠。





## (二) 異物干擾

對於單一的異物干擾，我們實驗後發現只要是距離肩斑銀腹蛛一段距離，肩斑銀腹蛛對於這些異物的反應比例低，只有在直接丟入蜘蛛的身上，反應才比較劇烈。反應比例以自製紙屑 > 杜鵑花葉 > 杜鵑花瓣(如圖 34)，顯示非自然的物體反應比例較高。對異物有反應的蜘蛛會離開原本網眼的地方，移動的方向不固定，沒有特定往哪一方向移動。此外，對異物有反應的蜘蛛移動的距離以自製紙屑 > 杜鵑花葉 > 杜鵑花瓣(如圖 35)，跟反應最高的異物比例相同。

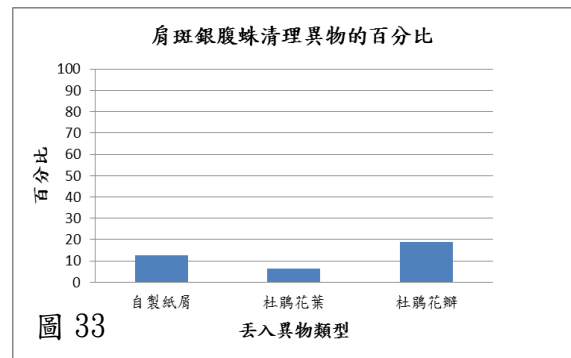


圖 33

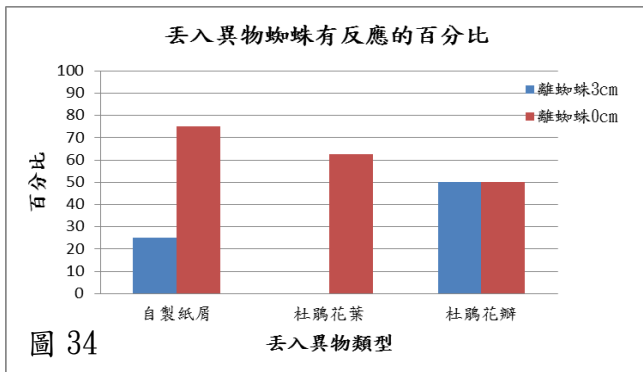


圖 34

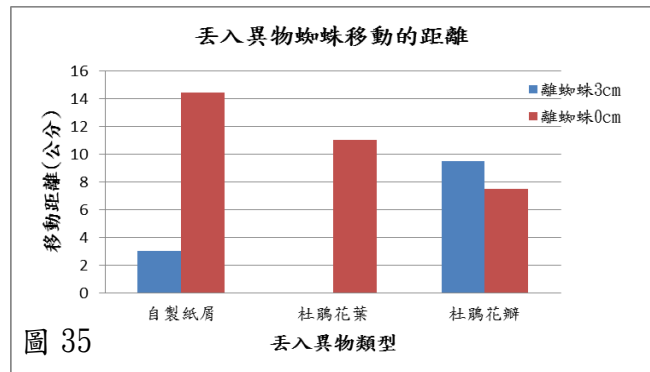


圖 35

肩斑銀腹蛛之後會再回到網眼處，我們在實驗後十分鐘之內進行觀察，發現肩斑銀腹蛛清理異物的百分比很低，沒有馬上清除。而清理異物的方式都是將異物丟棄。

泉字雲斑蛛對於主網上的異物反應靈敏，實驗中的十一隻蜘蛛中有七隻每次實驗都有反應。

對於異物有反應的泉字雲斑蛛皆會離開棲息處，但離開後依舊會在主網中。平均移動距離為 1.31 公分，每一隻有反應的泉字雲斑蛛移動距離如圖 37，此外泉字雲斑蛛的移動距離與捕捉面積相關性低。

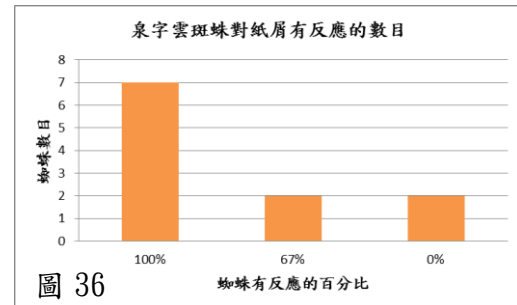


圖 36

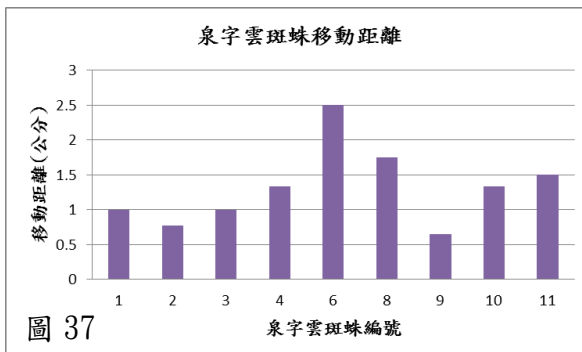


圖 37

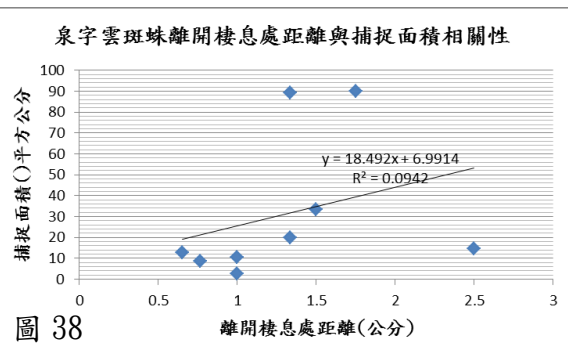


圖 38

實驗過程中我們也發現丟入泉字雲斑蛛的異物，只有編號 1 和 6 的蜘蛛會馬上清理紙屑，其他的蜘蛛都沒有馬上清理，而泉字雲斑蛛清理異物的方式與肩斑銀腹蛛不同，肩斑銀腹蛛的網目較大，因此可以直接將異物丟入網目清掉；但泉字雲斑蛛的主網網目很細，所以無法直接丟掉異物，泉字雲斑蛛移除異物的過程為：(紅色為泉字雲斑蛛，藍色為異物)

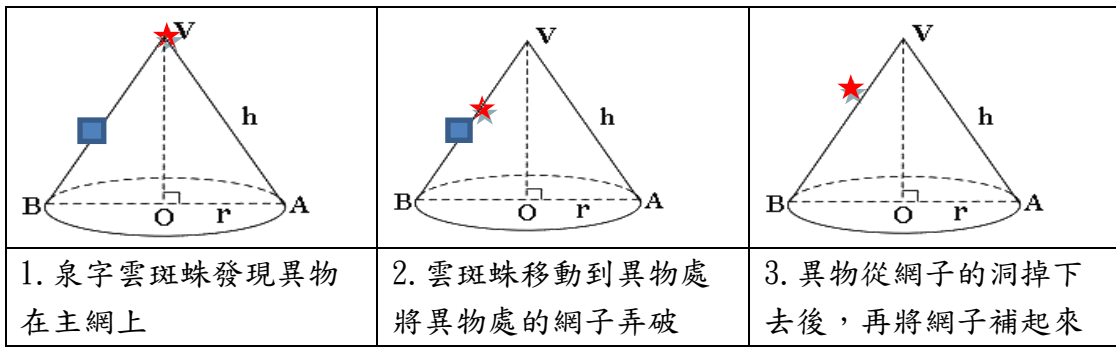


表 34 肩斑銀腹蜘蛛過振動後

移動的距離、方向以及移動軌跡圖

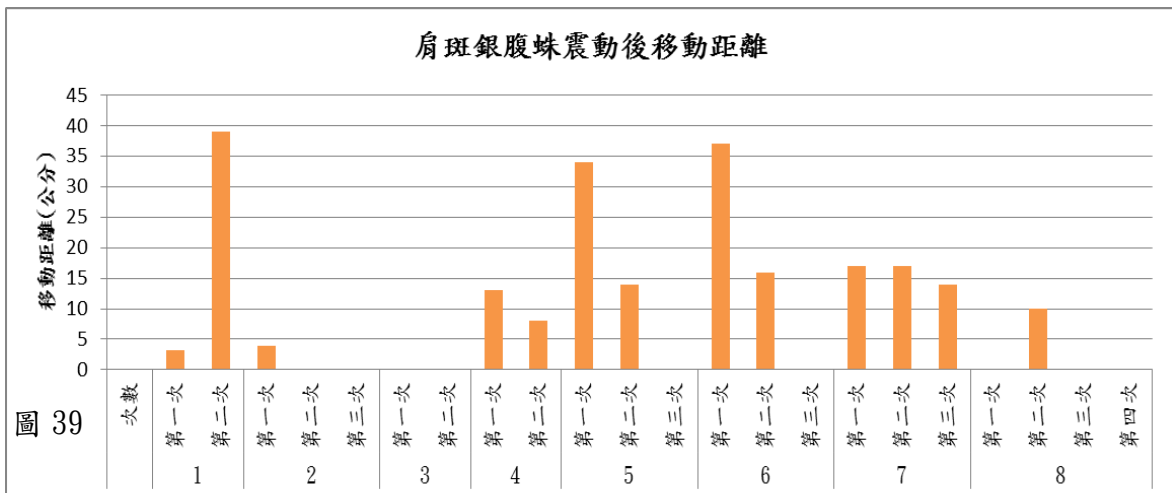
(三) 震動干擾

我們使用了試管夾進行了八隻肩斑銀腹蛛的震動實驗，實驗數據如表 34 所示：

對於我們所做的震動干擾，我們發現編號 2、3、8 號蜘蛛對於震動反應不顯著，震動之後都沒有離開網眼，而其他蜘蛛較為敏感，會離開網眼移動到其他網子的部位。而移動方向皆以網眼為中心，四散到周圍的區域。而移動距離較遠的為編號 1、5、6 蜘蛛，移動的距離可以到達 30 公分以上。

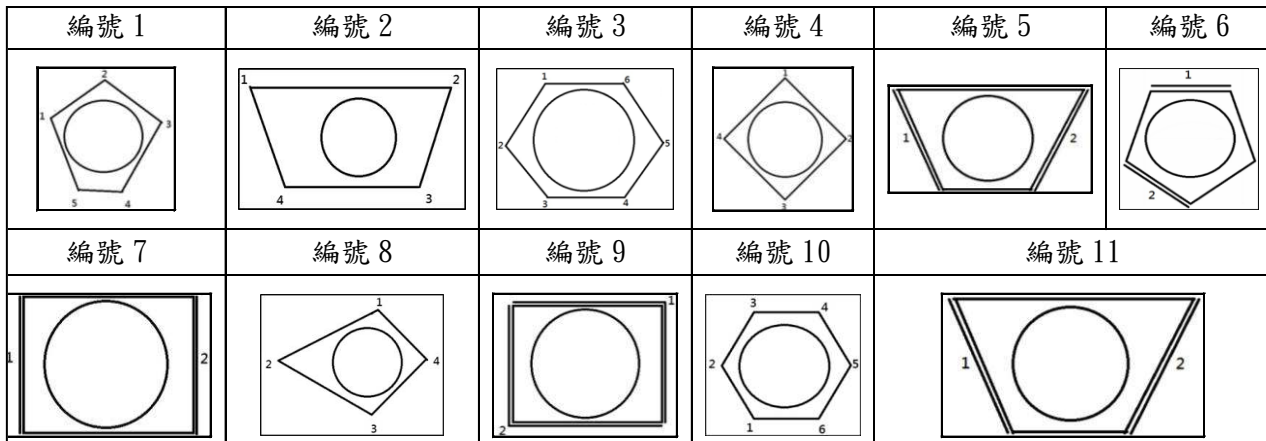
此外，對於震動產生反應的蜘蛛，第一次移動的距離較遠，第二次比第一次近，而編號 2、5、6 蜘蛛最後一次刺激都沒有離開網眼，顯示多次震動會使蜘蛛對於震動感覺疲勞。

編號	實驗	每次實驗 敲擊次數	移動方向	移動距離	移動簡圖
	次數				
1	第一次	3	右下	3.15	
	第二次	3	左下到左上	39	
2	第一次	1	左上	4	
	第二次	50	沒有移動	0	
	第三次	50	沒有移動	0	
3	第一次	10	沒有移動	0	
	第二次	10	沒有移動	0	
4	第一次	4	左下	13	
	第二次	3	右下	8	
5	第一次	1	下到左下	34	
	第二次	4	上	14	
	第三次	10	沒有移動	0	
6	第一次	10	下到右上	37	
	第二次	5	上	16	
	第三次	2	沒有移動	0	
7	第一次	3	右上	17	
	第二次	1	右上	17	
	第三次	2	左下	14	
8	第一次	10	沒有移動	0	
	第二次	5	右上	10	
	第三次	10	沒有移動	0	
	第四次	10	沒有移動	0	



在進行泉字雲斑蛛的震動實驗之前，我們先從網的上方觀察網的周圍狀況，並以此決定使用震動的次數，我們實驗的十一個網狀況如下：

表 35 泉字雲斑蛛 蛛網上方觀察圖



每一個圖形上面的數字為我們實驗所進行的敲擊震動順序，而中間的圓形為圓錐底面積。

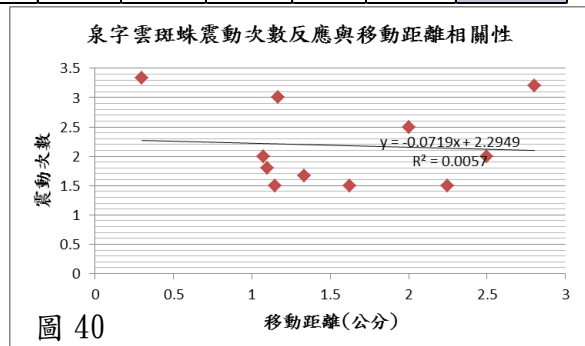
泉字雲斑蛛對於震動較為敏感，每一次的震動大多有反應，其中有 8 隻雲斑蛛每次震動都有反應，移動的方式都是從棲息處移動圓錐網上，而且移動的距離都沒有超出主網範圍。我們的實驗數據如表 36：

(其中黃色的部分為雲斑蛛進行震動實驗的次數，而 X 表示沒有反應，/ 表示沒有進行實驗)

表 36 泉字雲斑蛛震動幾次後才有反應以及反應後移動的距離(單位：公分)

編號	擊點1		擊點2		擊點3		擊點4		擊點5		擊點6		有反應 比例
	次數	距離	次數	距離	次數	距離	次數	距離	次數	距離	次數	距離	
1	3	0.5	2	0.5	1	2	1	1	2	1.5	/	/	100%
2	1	0.8	1	1.5	2	1	4	1	/	/	/	/	100%
3	3	1	1	1.5	x	x	1	1.5	x	x	x	x	60%
4	x	x	1	0.3	3	0.3	6	0.3	/	/	/	/	75%
5	1	2	4	2	/	/	/	/	/	/	/	/	100%
6	2	3	1	1.5	/	/	/	/	/	/	/	/	100%
7	1	1.5	4	1	4	1	/	/	/	/	/	/	100%
8	1	1	1	1	3	4	1	0.5	/	/	/	/	100%
9	1	1	2	1.3	/	/	/	/	/	/	/	/	100%
10	6	3	3	1	3	1	2	7	2	2	x	x	100%
11	2	2	2	3	/	/	/	/	/	/	/	/	100%

從結果中發現泉字雲斑蛛平均震動 2.18 次開始移動，其中以編號 4 和 10 的雲斑蛛對於震動敏感度較低；編號 6、8、9 的雲斑蛛敏感度較高。而移動的距離平均 1.57 公分，以編號 10 和 11 離開棲息處的距離較遠；編號 4 移動的距離最近。分析泉字雲斑蛛震動次數和移動距離的相關性，如圖 40 顯示兩者相關性小。





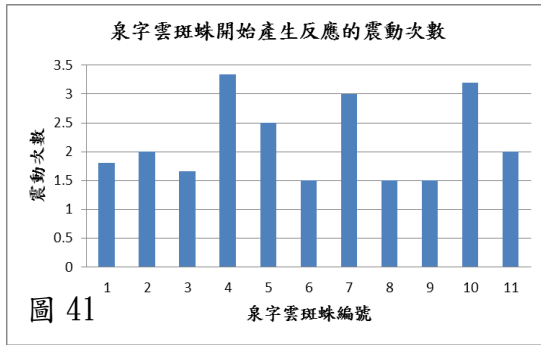


圖 41

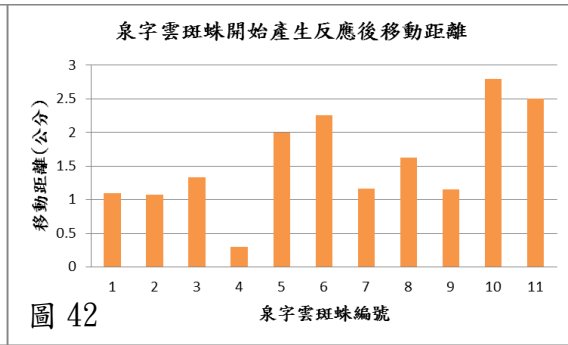


圖 42

#### 四、蛛網結構與捕獵行為

##### (一) 棲息的空間概念

我們觀察了兩隻泉字雲斑蛛及七隻肩斑銀腹蛛的棲息位置，實驗結果如下表：

表 37 肩斑銀腹蛛棲息位置(座標 x, y)

編號	早上	中午	晚上
1	(0, 0)	(0, 0)	(0, 0)
2	(0, 0)	(0, 0)	(0, 0)
3	(0, 0)	(0, 0)	(0, 0)
4	(0, 0)	(0, 0)	(0, 0)
5	(0, 0)	(0, 0)	(0, 0)
6	(0, 0)	(0, 0)	(0, 0)
7	(0, 0)	(0, 0)	(0, 0)

表 38 泉字雲斑蛛棲息位置(座標 x, y, z)

編號	早上	中午	晚上
1	(0, 6, 0)	(0, 6, 0)	(0, 6, 0)
2	(0, 13, 0)	(0, 13, 0)	(0, 13, 0)

泉字雲斑蛛都棲息於圓錐網的頂點處，肩斑銀腹蛛則棲息於網眼，蛛網為蜘蛛捕食獵物的工具，而棲息的位置與能否迅速地捕捉獵物息息相關，平時沒有獵物的狀況要保持在最佳狀況，因此棲息的位置到網子的任何位置都是最短距離也最為方便。

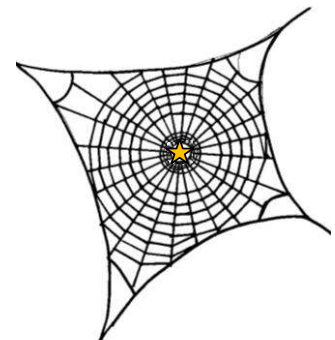
肩斑銀腹蛛棲息的位置都為網眼，若所結的網越接近圓形，在網眼中間到任何地點都是最方便的，因此在結果一中可以發現有 20 個圓網長軸和短軸的比值都小於 1.5，接近圓網，越接近圓形對於捕獵而言越有利。

##### (二) 捕獵的過程

我們將兩種蜘蛛的捕獵過程攝影，並且拍照分析。

- 泉字雲斑蛛捕食獵物的過程如下：在餵食的過程中，我們發現泉字雲斑蛛捕食比自身小的獵物時，並不一定會纏繞，有時沒有纏繞絲就直接進食。

(5和6為不同的兩種情形)



黃色為肩斑銀腹蛛棲息處

(1) 發現獵物後，先稍微固定	(2) 帶回圓錐形的頂端	(3) 將獵物以兩顎固定
		
(4) 壓縮成圓形	(5) 纏繞完成後，存掛於網上	(6) 開始吸食



進行完肩斑銀腹蛛果蠅餵食的實驗，我們也對 11 隻泉字雲斑蛛進行果蠅餵食實驗。如表 39：

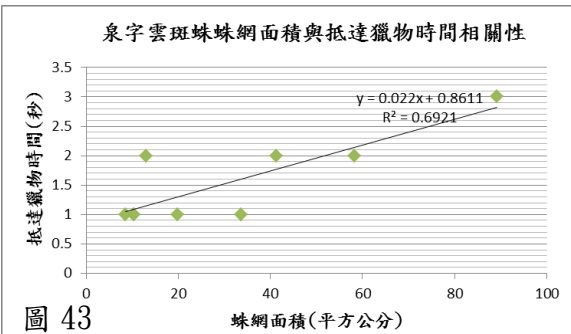


圖 43

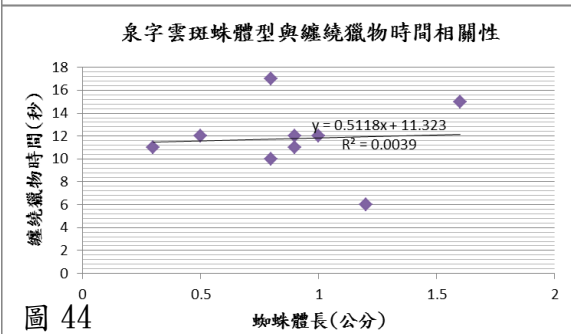


圖 44

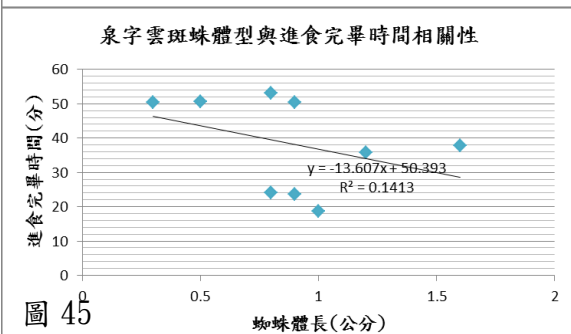


圖 45

表39泉字雲斑蛛捕食無翅果蠅(抵達及纏繞果蠅的時間為秒、吸食果蠅則為分)

編號	抵達獵物時間	纏繞時間	食用時間
1	1	11	23.63
2	1	12	50.5
3	1	11	50.5
4	2	17	53
5	1	10	24
6	2	6	35.83
7	1	12	18.67
8	2	12	50.72
9	3	15	37.83
平均	1.56	11.78	38.30

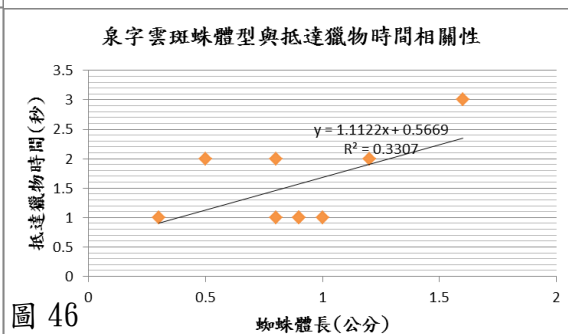


圖 46

泉字雲斑蛛的捕捉面積與抵達獵物的時間呈現正相關，顯示蛛網面積大，抵達獵物的時間較長；此外比較泉字雲斑蛛體型與抵達獵物時間相關性，兩者之間相關性不大；比較泉字雲斑蛛體型與纏繞獵物時間相關性，兩者的相關性較也不大；比較肩斑銀腹蛛體型與進食完畢時間相關性，兩者的相關性不大，單可以發現，體型小的蜘蛛進食的時間較久一些，體型大的蜘蛛進食時間短一些。

肩斑銀腹蛛捕食獵物的過程如下：

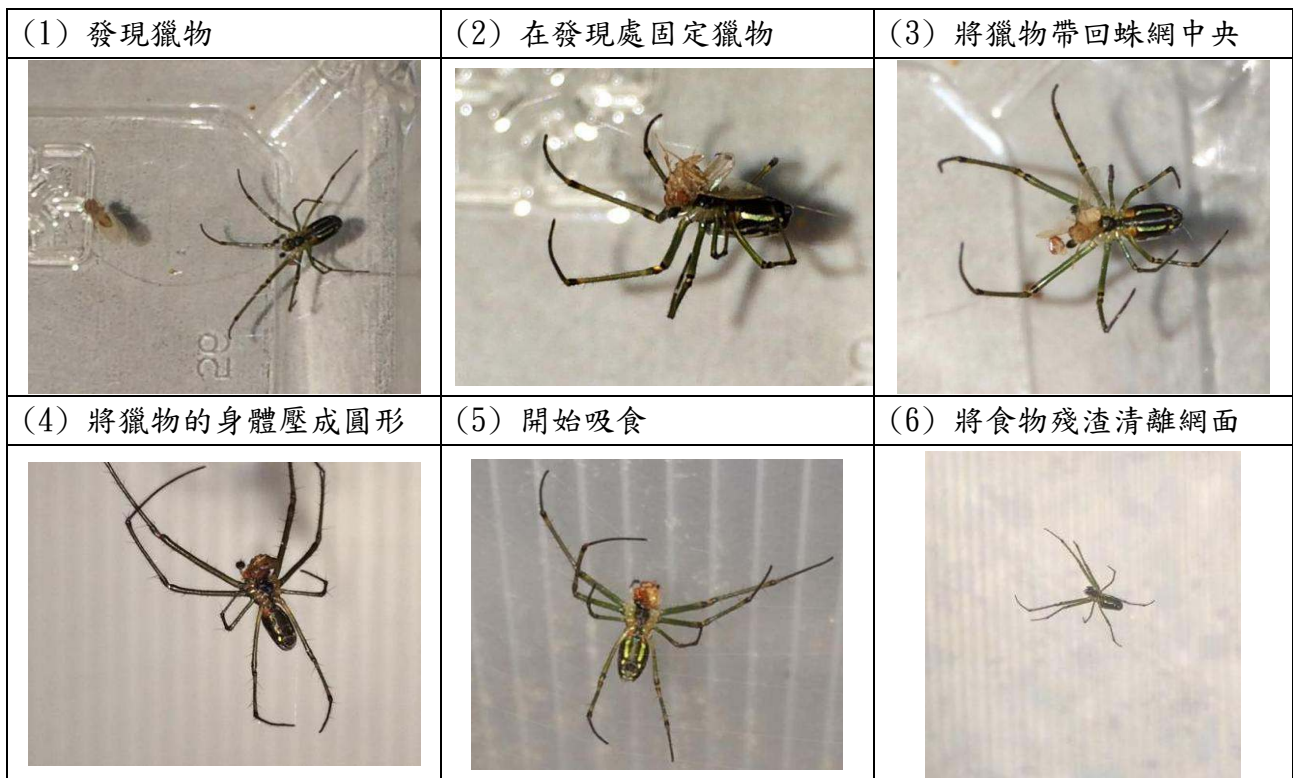


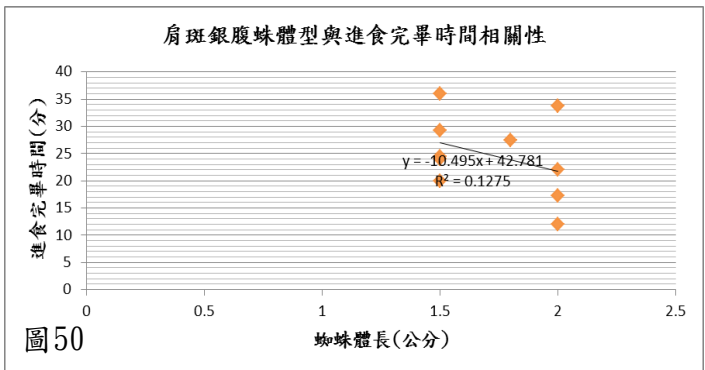
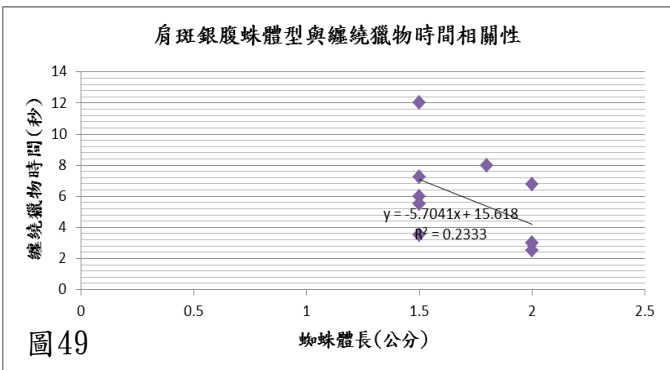
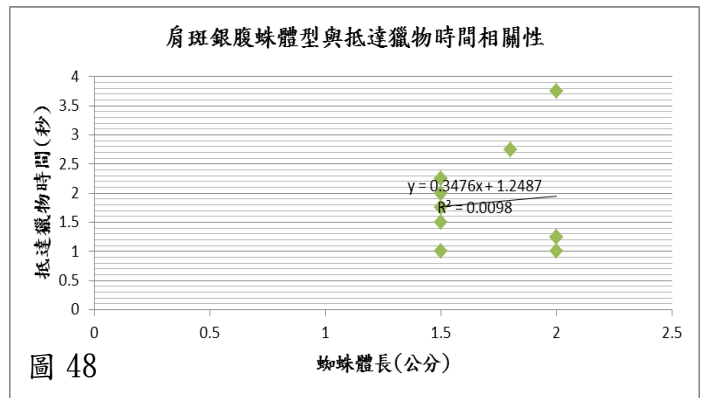
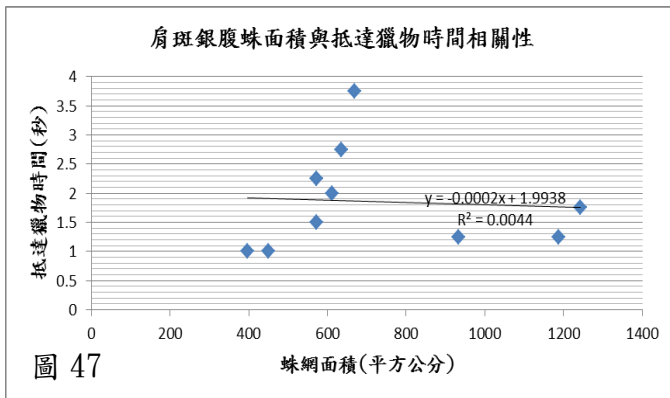
表40肩斑銀腹蛛捕食無翅及殘翅果蠅比較(抵達及纏繞果蠅的時間為秒、吸食果蠅則為分)

編號	無翅			殘翅		
	抵達獵物時間	纏繞獵物時間	進食完畢時間	抵達獵物時間	纏繞獵物時間	進食完畢時間
1	3.75	2.5	17.25	1.5	8.75	31
2	2.75	8	27.5	1.25	7.25	36.75
3	2.25	12	29.25			
4				2.5	4.25	26.25
5	1	6	24.5	1	6.5	33
6				1	2.25	15.5
7	1.25	3	22	1	3.25	18
8	1.5	7.25	36	1	4	20.5
9	1	3	12			
10	1.75	3.5	24	1.25	5.75	30.75
11	2	5.5	20	1	4.75	24.5
12	1.25	6.75	33.75	1.25	9.5	27.25
平均	1.85	5.75	24.625	1.275	5.625	26.35

注：灰色部分沒有進行實驗

不論是無翅還是殘翅果蠅在不同方位放置果蠅，蜘蛛抵達果蠅的時間都沒有差別，因此我們將四個不同方位的數據加以平均。肩斑銀腹蛛對於無翅和殘翅果蠅較顯著的差別在於抵達獵物的時間，殘翅果蠅雖然翅膀功能不佳但是依舊會晃動的較劇烈，此外，體積較大也震動的較顯著，因此蜘蛛感應獵物的時間會比較快。





比較肩斑銀腹蛛面積與抵達獵物時間相關性，兩者之間相關性不大；比較肩斑銀腹蛛體型與抵達獵物時間相關性，兩者之間相關性不大；比較肩斑銀腹蛛體型與纏繞獵物時間相關性，兩者的相關性較大，體型小的蜘蛛纏繞獵物的時間較久；比較肩斑銀腹蛛體型與進食完畢時間相關性，兩者相關性也較大，體型小的蜘蛛進食的時間較久一些。

## 陸、 討論

### 一、 觀察泉字雲斑蛛及肩斑銀腹蛛結網的特性

#### (一) 結網環境的研究

蜘蛛屬於結網捕獵型的掠食者，結網的地點就是牠選擇捕獵的場所，對於蜘蛛而言選擇甚麼環境結網對於牠捕獵的成效有很大的相關性。我們實際觀察兩種蜘蛛的結網環境，泉字雲斑蛛的網型比較大，大多數都發現在樹頂及建築物角落的區塊；肩斑銀腹蛛則多數在樹枝間端或是小草叢尖端結網。兩種蜘蛛結網環境的相似之處在於都在向光面結網，推測向光面的結網方式可以捕捉到較多的昆蟲，而牽引絲附著的物質也多以樹枝或是植物的莖為主。

#### (二) 結網過程的研究

兩種蜘蛛因網的形式不一樣，故結網的方式不同，泉字雲斑蛛為立體的皿網，外部有障礙網保護，野外的泉字雲斑蛛有可能結完一個網可以維持數十天不再重新結網，只有修補網。障礙網結完之後才會結中間的主網，結網的時間長，也因此網比較扎實，可以維持比較久的時間。而肩斑銀腹蛛的平面空心圓網，結網的方式則是由外向內，最後才結出平時棲息的網眼。網的結構比較簡單，也因此比較脆弱，但結網的速度也快，根據我們實地觀察大約一到兩個小時就可以結完。在我們觀察牠們結網的過程中發現不論是哪一種蜘蛛，都會先將周圍的主要固定的蜘蛛絲先架構好，接著才將蛛網蜘蛛行走的縱絲完成，最後才架構要捕捉獵物的橫絲。

1. 架構周圍固定網的絲

2. 完成行走的縱絲

3. 最後架構捕捉獵物的橫絲

此外，蜘蛛絲都十分的細，要用攝影方式捕捉結網的過程實屬困難，因此我們便使用手繪及文字描述詳盡將結網過程描述下來，就以後在研究結網的部分，我們會再進一步研究攝影蜘蛛網及拍照方式。

## 二、探討泉字雲斑蛛及肩斑銀腹蛛蛛網特徵

### (一) 蛛網的特徵及幾何概念

我們將兩種不一樣蜘蛛做比較，如表 41 所示：

表 41 泉字雲斑蛛及肩斑銀腹蛛比較

蜘蛛	障礙網	立體或平面	主網外型	捕捉面積	網目狀況
泉字雲斑蛛	有	立體	圓錐形	圓錐側面積扇形	細緻
肩斑銀腹蛛	無	平面	橢圓形	橢圓形	網目間空間大

泉字雲斑蛛的體型雖然比較大，但主網的捕捉面積並沒有比肩斑銀腹蛛大。根據我們實地的觀察，其主要原因可能是因為泉字雲斑蛛的蛛網比較緻密，因此獵物不容易從網目之間離開；而肩斑銀腹蛛的蛛網在我們進行異物干擾的實驗發現，當我們將 25mm<sup>2</sup> 的花瓣丟入網中，因為網目的空間較大，花瓣穿過網子沒有被黏附住。從網子的結構也可以發現兩種蜘蛛的捕獵策略不一樣，泉字雲斑蛛的網小捕獲率高，肩斑銀腹蛛的網大捕獲率小。此外，泉字雲斑蛛的蛛網大小與蜘蛛的體型相關，大的蜘蛛結大網，小的蜘蛛結小網，其中主網的底面積與體長成正相關，而圓錐的高度與體長的相關性小，推測與結網環境的狀況有關；而肩斑銀腹蛛通常結網在葉縫間，因此蛛網的大小常取決於葉縫的空間大小，與肩斑銀腹蛛的體型關係較小。泉字雲斑蛛和肩斑銀腹蛛結網地點離地的高度與體長的相關性小，高度與結網的植株類型有關，若是在矮樹叢，則離地高度就會比較低，結網在樹上，離地高度就會比較高。

我們對於肩斑銀腹蛛進行腳長和體長的分析，發現  $y=4.106x^{1.2334}$ ， $a=4.106$ 、 $b=1.2334$ 、 $R^2=0.5192$ ，因  $b>1$ ，所以腳長對體長為正的異速生長，顯示腳長成長速度是相對快速的。

而泉字雲斑蛛腳長和體長的分析則為  $y=2.2523x^{0.7424}$ ， $a=2.2523$ 、 $b=0.7424$ 、 $R^2=0.6574$ ，因  $b<1$ ，顯示腳長成長速度是並沒有比較快速。

### (二) 蛛網的顯微觀察及張力

使用複式顯微鏡觀察後，我們發現：泉字雲斑蛛的障礙網 > 泉字雲斑蛛的橫絲 > 肩斑銀腹蛛的縱絲 > 泉字雲斑蛛的縱絲 > 肩斑銀腹蛛的橫絲。蜘蛛絲皆由蛋白質所組成，成分最多的分別為甘胺酸 (Glycine)，丙胺酸 (Alanine)，麩胺酸 (Glutamine)，脯胺酸 (Proline) 及絲胺酸 (Serine)，這五種胺基酸就佔了 85%，這些胺基酸可能使得絲具有特殊的結構而反應在蜘蛛絲的張力上。而結網必須消耗蜘蛛大量的蛋白質，從泉字雲斑蛛的障礙網上的絲可以發現為了避免主網被破壞所以投資很多養分在障礙網上，而主網的構造也是相當綿密；相反的肩斑銀腹蛛的蛛網為平面結構，所吐的絲也比泉字雲斑蛛來的細，顯示對於網的付出較少。但相反的泉字雲斑蛛所提供的網代價較高，網被破壞後通常要花較長時間恢復；肩斑銀腹蛛的網較簡單但網被破壞後所花的時間較短，兩種蜘蛛採取的模式各有利弊。

蜘蛛網周圍的牽引絲是固定及承受蛛網上蜘蛛重量以及獵物重量和衝擊力很重要的部分，根據牛頓第二定律來看， $F=ma$ ，其中支撐力為  $F$ ，而  $m$  包含蜘蛛本身質量以及蜘蛛絲的質量和獵物的質量，而  $a$  就是重力加速度  $g=9.8m/s^2$ 。我們利用簡易的拉密定律來檢測真的發若肩斑銀腹蛛傾斜網面的上方牽引絲所承受的力比較大，下方比較小，顯示上方的牽引絲承受的力較大。

泉字雲斑蛛固定主網的結構則是外圍的障礙網，實驗中我們所取的七個障礙網數據顯示除 a 以外，其他數據的大小是對稱的，以此穩固主網的架構。如圖 51 所示，b 和 f 對稱；d 和 g 對稱；c 和 e 對稱，我們推測 a 與其他數值相關性低，主因可能是泉字雲斑蛛會因結網環境而調整蛛網的狀況，a 可能就是因應周圍環境的蜘蛛絲。

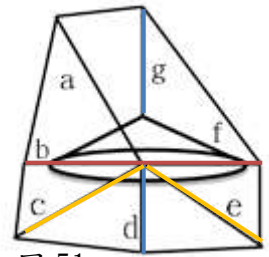


圖 51

### 三、研究泉字雲斑蛛及肩斑銀腹蛛受干擾的行為模式

(一) 對於**雨滴**的反應：在自然界中經常會下雨，我們發現泉字雲斑蛛及肩斑銀腹蛛對於細小的噴水雨滴敏感性低，除非直接噴水柱才有反應出現，顯示若下小雨，泉字雲斑蛛及肩斑銀腹蛛依舊會在網中守候獵物，除非雨很大才會離開網眼到其他地方避雨。即使離開棲息處兩種蜘蛛依舊會在主網上，不會移動到其他地方。

且泉字雲斑蛛移動的距離與體長的相關性大，顯示大體型的泉字可以移動比較遠。

(二) 對於**異物**的反應：實驗中我們所做的異物，蜘蛛的反應不顯著，顯示蜘蛛對於不是食物的異物並不會有特殊反應，依舊會留在網眼處等候獵物，除非直接丟在牠的身上，不然反應的狀況不佳。我們也在原地觀察是否會清理異物，等候時間為十分鐘，皆沒有看到肩斑銀腹蛛清理異物，顯示肩斑銀腹蛛對於異物並不會馬上清理。而泉字雲斑蛛具有障礙網，障礙網的保護，使的泉字雲斑蛛對於異物沒有反應，而後破壞一部分的障礙網，才有辦法將異物放在主網上。而泉字雲斑蛛的反應靈敏，對於每一次的異物皆有反應，但也只有兩隻泉字雲斑蛛馬上清理異物，其他泉字雲斑蛛在十分鐘之內對異物沒有反應。我們進一步研究兩種不同的蜘蛛對於異物清理的方式，如表 42，顯示泉字雲斑蛛處理異物要花費較大的能量，推測這也是泉字雲斑蛛有障礙網的因素。

表 42 泉字雲斑蛛及肩斑銀腹蛛清理異物方式比較

	網目大小	清理異物方式		
肩斑銀腹蛛	大	直接將異物丟入大的網目中		
泉字雲斑蛛	小	移動到異物處將異物處的網子弄破	將異物從網子的洞掉下去後	將網子補起來

(三) 對於**震動**的反應：在肩斑銀腹蛛的震動實驗發現，對於震動產生反應的蜘蛛，第一次移動的距離較遠，第二次比第一次近，而編號 2、5、6 蜘蛛最後一次刺激都沒有離開網眼，顯示多次震動會使蜘蛛對於震動感覺疲勞。而泉字雲斑蛛對於震動的實驗敏銳性比肩斑銀腹蛛高，雖然也有疲勞的反應，但不像肩斑銀腹蛛顯著，並且都沒有離開主網，推測可能是因為我們僅微微的敲擊以免蛛網被破壞，而樹叢間本就會有一些風吹草動，導致實驗的結果不顯著。

### 四、探討泉字雲斑蛛及肩斑銀腹蛛棲息位置與捕獵行為

蜘蛛棲息的位置與捕獵有關，不論是泉字雲斑蛛棲息在圓椎網的底端或是肩斑銀腹蛛棲息在網眼的部位，皆顯示在幾何圖形的中間位置最有利於至蛛網的任一地點捕捉獵物。而捕獵的方式兩種蜘蛛皆是以相同方式捕捉，先將獵物壓縮到最小，並且迅速帶回原本的棲息位置進行纏繞，而後吸食完畢之後便將殘渣清理。而兩種蜘蛛發現獵物並抵達獵物時間差不多，纏繞獵物的時間及吸食獵物的時間都是以泉字雲斑蛛比較久。

表 43 泉字雲斑蛛及肩斑銀腹蛛捕獵時間比較

	抵達獵物的時間	纏繞獵物的時間	吸食獵物的時間
肩斑銀腹蛛	1.8 秒	5.7 秒	25 分鐘
泉字雲斑蛛	1.56 秒	11.78 秒	38 分鐘



## 五、實驗困境及未來展望

七月的盛夏，因為在校園角落的一處觀察到兩種蜘蛛群聚生活在一起的狀況，引起我們的好奇心。當時我們原本想要將蜘蛛飼養在教室內，再進行實驗，但過程中我們飼養的方式可能不對，蜘蛛相繼死亡，且飼養之蜘蛛所結的網並非野生中之常態，故我們轉向以野生蜘蛛實驗。至野外搜尋蜘蛛時，我們發現肩斑銀腹蛛出現的季節與泉字雲斑蛛並非完全相同。如表 44，在我們的野外實驗中，肩斑銀腹蛛出現於每年的三月到十一月，而泉字雲斑蛛出現於每年的五月到十二月，其他時間要發現這兩種蜘蛛十分困難，尤其是冬天數量極少，而肩斑銀腹蛛以春夏數量最多，泉字雲斑蛛以夏秋數量最多。

表 44 泉字雲斑蛛及肩斑銀腹蛛的出現季節

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
肩斑銀腹蛛												
泉字雲斑蛛												

我們未來若繼續發展，將會從最剛開始的挫折點做起，經這段時日的觀察，我們已掌握泉字銀斑蛛及肩斑銀腹蛛的棲息概念，成功飼養後，便進行更深入且多樣的實驗，即可呈現出更加完整的作品。

## 柒、結論

一、綜合研究一，我們的結論如下：

- (一) 泉字雲斑蛛及肩斑銀腹蛛的結網環境常為植物和建築物的向光面，若結網地點是植物，則常在植物頂端；若結網的地點是建築物，則常在角落，且皆無遮蔽物。
- (二) 泉字雲斑蛛及肩斑銀腹蛛的結網過程為：框架(障礙網)→縱絲→橫絲，泉字雲斑蛛結網所花費的時間雖較長，但網的使用時間也較長。

二、綜合研究二，我們的結論如下：

- (一) 泉字雲斑蛛的網為圓錐形的網，經實際觀察後發現圓錐底部的長寬幾乎一樣，所結的主網底面積為圓形，可以視為正圓錐；肩斑銀腹蛛的網為平面空心圓網，會因環境而改變網的形狀，因此會出現偏離圓形的網，但大多數仍近似圓形，經分析後發現，肩斑銀腹蛛的蛛網各部位形質與體型雖有相關，但相關性不高。
- (二) 共 5 種蛛絲由粗到細為：泉字雲斑蛛的障礙網 > 泉字雲斑蛛的橫絲 > 肩斑銀腹蛛的縱絲 > 泉字雲斑蛛的縱絲 > 肩斑銀腹蛛的橫絲
- (三) 共 5 種蛛絲張力由大到小為泉字雲斑蛛的障礙網 > 泉字雲斑蛛的橫絲 > 泉字雲斑蛛的縱絲 > 肩斑銀腹蛛的縱絲 > 肩斑銀腹蛛的橫絲，與粗細大小相當類似，此大小關係與蛛網結構也有相關，因各部位的絲需承受的力不同，故所需粗細也有異。

三、綜合研究三，我們的結論如下：

- (一) 使用水珠干擾時，發現泉字雲斑蛛及肩斑銀腹蛛對於較小的水滴及較遠離棲息處的水滴反應較小，而做出反應的蜘蛛會往干擾的反方向逃離。若直接噴灑棲息處則以肩斑銀腹蛛的反應較大，且會往四處逃竄。
- (二) 泉字雲斑蛛及肩斑銀腹蛛對於非自然的物體反應比例較高，肩斑銀腹蛛的反應比例以自製紙屑 > 杜鵑花葉 > 杜鵑花瓣。對異物有反應的蜘蛛會離開原本網眼的地方，移動的方向不固定。過一段時間後，蜘蛛會回到棲息處，但短時間並不會清除異物。若清除異物則因網目大小不同而使用不同的方法。

(三)對於震動干擾，反應比例以泉字雲斑蛛>肩斑銀腹蛛，泉字雲斑蛛會往震動的反方向移動，且震動次數和移動距離的相關性小，肩斑銀腹蛛則以網眼為中心，四散到周圍的區域。而對於震動感覺疲勞的情形以肩斑銀腹蛛較顯著。

四、綜合研究四，我們的結論如下：

(一)泉字雲斑蛛皆棲息於圓錐網的頂點處，肩斑銀腹蛛則棲息於網眼中，蜘蛛棲息的位置決定他們對於網的掌控度，而不論是網頂或是網眼，皆能感受到四面八方的情況，並可以最短的時間逃離或捕獵。

(二)當蜘蛛捕獵對象的體型小於其本身，蜘蛛不一定會做出纏繞行為，但會將之壓縮成圓形，並將獵物帶回網中央，且吸食過程中若受到威脅，會視情況而留下獵物逃離。

(三)獵物落網的方位對蜘蛛捕獵的行為並無顯著影響，體型及類型則影響到蜘蛛察覺獵物的時間。

## 捌、參考資料及其他

- 一、陳世煌(2001) 臺灣常見蜘蛛圖鑑，行政院農業委員會
- 二、童暉哲、林雍傑、林鈺書、鄧偉豪(2005)，“絲”路之旅－環境因子對蜘蛛絲張力之影響及胺基酸組成分析，中華民國第45屆國中小學科展
- 三、吳宗儒、林彥羽、呂昂、方楷烽(2007)，光線對人面蜘蛛結網之影響，中華民國第47屆國中小學科展
- 四、王彥澄(2008)，銀色的紡織天才--肩斑銀腹蛛，中華民國第48屆國中小學科展
- 五、林大為、吳旻軒、謝承佑(2010)，蛹往直前-蛹吊能力，中華民國第50屆國中小學科展
- 六、梁信弘、徐振益、江英吉、許晉維(2010)，難道你什麼都不想要-二角塵蛛網上異物選汰行為與隱帶形成之探討，中華民國第50屆國中小學科展

## 【評語】 030315

研究立體蜘蛛網的結構與功能，能用複雜數學公式去計算立體網的面積及形狀，難能可貴。另外也觀察到利用此蜘蛛網與泉字雲斑蛛之間的關係，與受環境影響時的因應動作，增加大家的了解，非常不容易。