

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物科

第三名

030313

「蜘蛛」來「織」趣」-大姬蛛不規則網之拓撲探
究

學校名稱：基隆市立武崙國民中學

作者： 國二 潘冠竹 國二 甘瑀涵 國二 楊子毅	指導老師： 葉玉君 李冠儀
---	-----------------------------

關鍵詞：大姬蛛、拓撲、仿生網

摘要

學校最常見的蜘蛛就是肩斑銀腹蛛、簷下姬鬼蛛及大姬蛛，肩斑銀腹蛛多棲息在植物上，簷下姬鬼蛛多棲息在欄杆上，而大姬蛛多棲息於陰暗處，有護卵行為。大姬蛛的網為不規則網，主要分為牽引絲、主網結構及次級結構。大姬蛛的網形分別為三角體、吊帶型及星型，主網形狀分為 12 種拓撲形狀，且大姬蛛網的牽引絲越長，網面積越大；立體主網面積越大，平面主網面積也越大；平面主網劃分角越大，區域內的牽引絲越少；短牽引絲的附著角度平均大於長牽引絲附著角度平均；具有支架的蜘蛛網，牽引絲數量與離地高度平均大於沒有支架的蛛網。仿生大姬蛛網吊帶型的振動幅度為 0.06 公分，三角體的振動幅度為 0.02 公分，顯示三角體面對風力的作用下，其結構較為穩固。不論是吊帶型及三角體仿生蛛網，其主網部分的振動幅度皆為最大，而連接點及牽引絲為蜘蛛網的周圍架構，其晃動幅度小。

壹、研究動機

蜘蛛是學校常見的動物，我們在花圃及後山都觀察到了許多蜘蛛，因此開始調查這兩個地方的蜘蛛種類及分布。有一次，意外發現活動中心有許多蜘蛛棲息在此，特別的是活動中心只有大姬蛛，而牠們織的網是不規則網，我們感到非常的新奇，激起了想要更深入了解不規則網的興趣，並展開了一連串的研究。

貳、研究目的

- 一、 校園蜘蛛分布研究
- 二、 大姬蛛網的拓撲研究
- 三、 仿生大姬蛛網震動動態模式研究

參、研究設備及器材

設備:	風速計	電風扇	手機	電腦				
器材:	尺	筆	紙	膠帶	捲尺	樹枝	鑷子	剪刀
	瓦楞板	熱熔膠槍	熱熔膠	簽字筆	美工刀	釣魚線	PP 板	量角器
軟體:	GeoGebra(GGB)	小畫家	Tracker	Word	Excel			

肆、研究過程及方法



一、觀察蜘蛛分布及種類

我們在學校的活動中心、花圃發現許多不同種類的蜘蛛，為了瞭解蜘蛛的分布，我們在上學日的 12:00~13:00，以及 16:00~17:00 這兩段時間，到活動中心及花圃進行觀察。在花圃設定 XY 座標位置，並用 Word 軟體繪成表格，以列印下來的表格當作記錄紙，做完前置作業後，我們就到實地觀察，並記錄蜘蛛的種類、照度、風速、身長、網的半徑、網的傾斜度、座標。



調查花園情形。



調查後山情形。

學校活動中心觀察到很多大姬蛛的卵囊，決定調查此蜘蛛的卵囊與蜘蛛之間的分布。一開始，以手繪的格子作為紀錄，再轉成 Word 檔的表格。為了減少轉換時發生的誤差，最後直接將表格印出來，在表格上做紀錄，再照著調查時所標的位置點，點在 Word 檔上，以便儲存資料。

二、不同蜘蛛的生活型態的比較

為了更深入了解我們所研究蜘蛛之間的差異，我們決定上網查詢資料，將大姬蛛、姬鬼蛛以及肩班銀腹蛛的類別、體長、外觀、分布的地方、網的形狀以及特色進行比較，並列成表格作為整理。



觀察卵囊及蜘蛛分布。

用表格記錄卵囊及蜘蛛位置。

轉成 Word 檔。

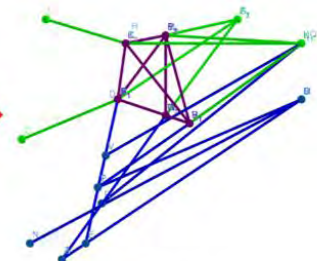
三、大姬蛛蛛網的拓撲研究

(一)何謂拓撲學？在數學裡，拓撲學（英語：topology），是一門研究拓撲空間的學科，主要研究空間內，在連續變化下維持不變的性質。在拓撲學裡，重要的拓撲性質包括連通性與緊緻性。拓撲學是由幾何學與集合論裡發展出來的學科，研究空間、維度與變換等概念。雖然直到 20 世紀初，拓撲空間的概念才開始發展起來。到了 20 世紀中葉，拓撲學已成為數學的一大分支。拓撲學有許多領域，本實驗以幾何拓撲學為主，主要研究流形與其對其他流形的嵌入。幾何拓撲學中一個特別活躍的領域為「低維拓撲學」，研究四維以下的流形。幾何拓撲學亦包括「紐結理論」，研究數學上的紐結。〈資料來源：維基百科〉

(二)大姬蛛蛛網的建構：在學校的人工環境建築下找到大姬蛛蛛網，用手機拍下不同角度的照片。手繪出不同角度的主要結構平面圖。依網的實際公分數，算出所有線兩端點的 xyz 座標。用 GeoGebra 程式，先繪製平面圖，再利用調整 xyz 點，模擬出實際



拍攝野生環境大姬蛛。



利用 GGB 繪製成立體結構。

立體蜘蛛網圖。用此立體圖，找出蜘蛛網裡所有牽引絲的長度、數量、夾角、方位和方位數量，以及蜘蛛網的形狀與面積、立體主網的形狀與面積、最大立體平面主網的形狀與面積、

最大立體平面主網的中心點劃分角度、立體次級架構與平面主網的面積、支架面積與絲數。

(三)為了讓蜘蛛織出特定形狀的蜘蛛網，我們用瓦楞板做了不同大小及不同環境的三個正方形飼養箱，布置適合蜘蛛織網的環境。一個飼養箱中交叉放入細樹枝；另一個飼養箱中加入一片瓦楞板形成三角狀環境；最後一個飼養箱中加入多片瓦楞板形成多面體環境。為了方便觀察，我們將飼養箱的上方或一面側面用 PP 板做成透明面。將大姬蛛先後放入自製的飼養箱中，觀察蜘蛛織網的情形。用手機拍下所有織網過程，再用小畫家繪出織網過程。並利用 GeoGebra 程式繪製出模擬立體圖，然後比較實驗箱中的蜘蛛網與野外的蜘蛛網。



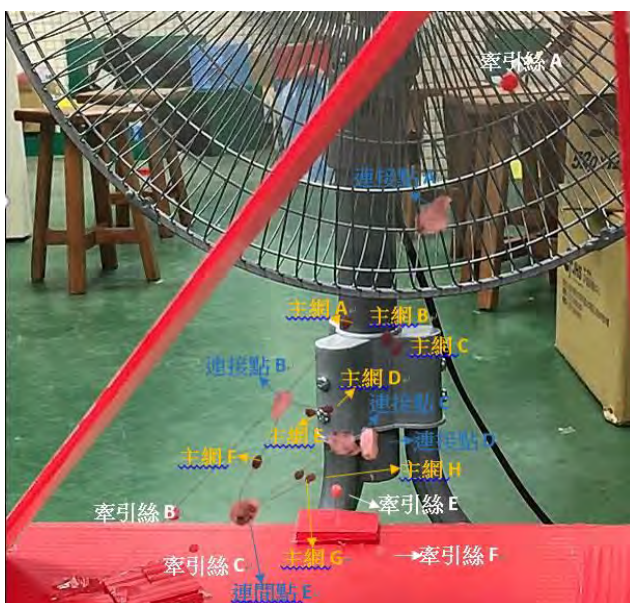
三角體飼養箱 吊帶型飼養箱 星型飼養箱

將大姬蛛先後放入自製的飼養箱中，觀察蜘蛛織網的情形。用手機拍下所有織網過程，再用小畫家繪出織網過程。並利用 GeoGebra 程式繪製出模擬立體圖，然後比較實驗箱中的蜘蛛網與野外的蜘蛛網。

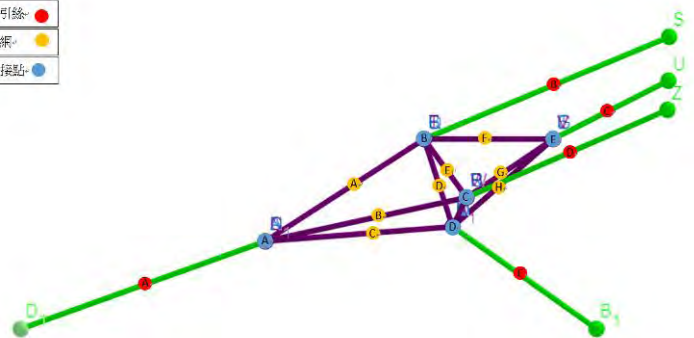
四、仿生大姬蛛蛛網振動動態模式研究

我們使用上個研究所分析出來的 GGB 圖，選擇了吊帶型和三角體這兩種網的來進行仿生。首先，將 GGB 檔截圖放置在 Word 檔中並列印下來，用尺測量每一條絲的長度，我們用釣魚線作為仿生網的絲，將釣魚線剪成每一段絲的長度，為了避免線飛走，我們把剪好的線用膠帶貼在瓦楞板上，再用量角器測量每一條絲之間的角度，用空白紙將這些角度一一畫出，將事先剪好的線對照蜘蛛網用熱熔膠固定，再用瓦楞板組合起來，最後在每一條絲的中間用黏土標點，作為觀察震動的質點。

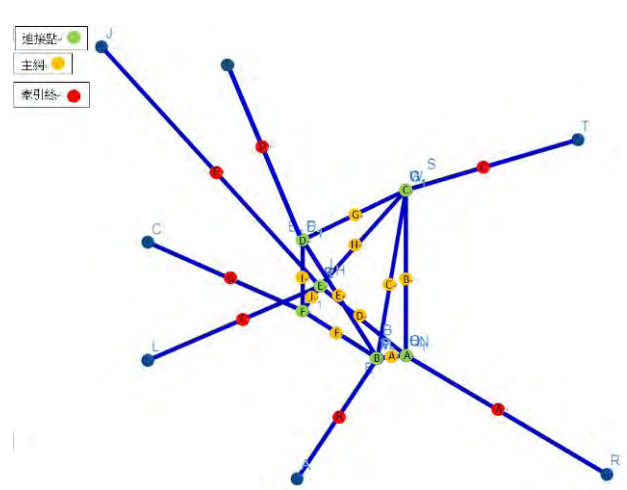
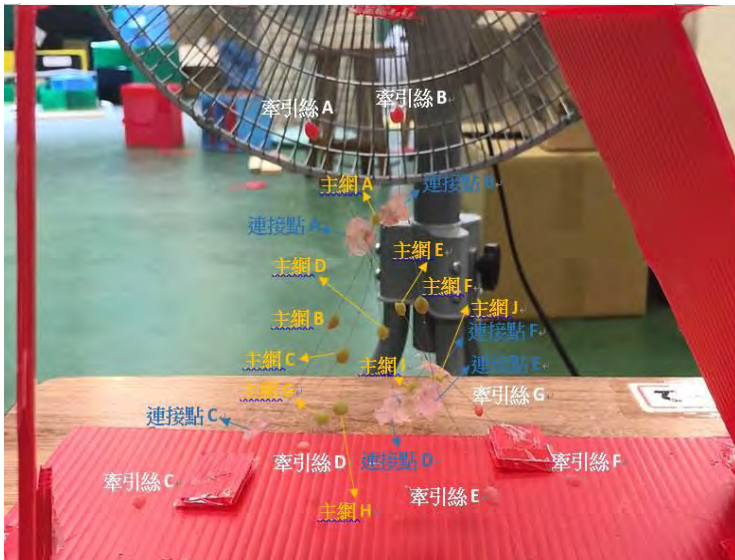
1.將釣魚線剪成正確的長度	2.黏絲	3.用黏土標點	4.將仿生網用瓦楞板組合起來



三角體大姬蛛真實標點



三角體大姬蛛網 GGB 檔標點



吊帶型大姬蛛 GGB 檔標點

吊帶型大姬蛛真實標點

仿生網做完了以後，我們利用電風扇的三段風速，在距離 30 公分處，將仿生網放在椅子上進行震動實驗，用手機錄影 20 秒來記錄，最後將影片用 Tracker 程式分析每個標點的振動幅度。

<p>1.開啟 Tracker 程式</p>	<p>2.載入影片</p>
<p>3.選取要分析的質點</p>	<p>4.擷取數據</p>

伍、研究結果

一、校園蜘蛛的基本資料及特色

(一) 肩斑銀腹蛛 *Leucauge blanda*

界	動物界 Animalia	分布: 低海拔山區	
門	節肢動物門 Arthropoda	網型: 圓形網	
綱	蛛形綱 Arachnida	體長: 8-13mm(雌) 6-10mm(公)	
目	蜘蛛目 Araneae	又稱中形銀腹蜘蛛、肩斑銀鱗蛛	
科	長腳蛛科 Tetragnathidae	外觀: 外觀近似大銀腹蛛但本種體型較小，腹背基部有 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 對醒目的黑色斑點，中央的縱帶有八字斑排列，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。	
屬	銀腹蛛屬 <i>Leucauge</i>		
種	肩斑銀腹蛛 <i>Leucauge blanda</i>		

表 1

(二) 大姬蛛 *Parasteatoda tepidariorum*

界	動物界 Animalia	分布: 低海拔山區	
門	節肢動物門 Arthropoda	網型: 不規則	
綱	蛛形綱 Arachnida	體長: 6-8mm	
目	蜘蛛目 Araneae		
科	姬蛛科 Theridiidae	外觀: 頭胸部紅褐色, 腹部球型, 腹背前半灰褐色, 後半暗紅色	
屬	希蛛屬 <i>Achaearanea</i>	密部白色的斑點, 中央有一枚倒V字型的白斑, 上下各有2枚	
種	大姬蛛 <i>Parasteatoda tepidariorum</i>	醒目的白斑, 腹端有一條黑色橫斑。外觀近似日本姬蛛但腹背中央不具紅色的縱斑。	

表 2

(三) 簷下姬鬼蛛 *Neoscona nautica*


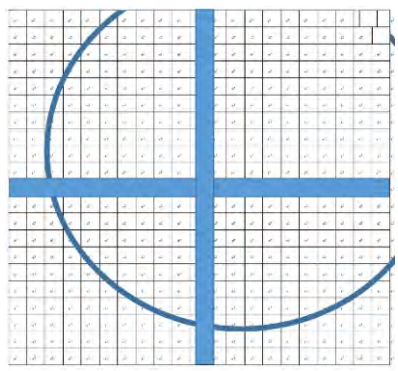

界	動物界 Animalia	分布: 中海拔山區	
門	節肢動物門 Arthropoda	網型: 圓形網	
綱	蛛形綱 Arachnida	體長(雌): 8-12mm	
目	蜘蛛目 Araneae	又稱嗜水新圓蛛	
科	金蛛科 Argiope	外觀: 頭胸背板黃褐色或暗褐色, 腹部卵形, 腹背體色變異較大,	
屬	姬鬼蛛屬 <i>Neoscona</i>	中央有3條不明顯橫向的黑斑, 各步足淺褐色至黑褐色, 各節具	
種	簷下姬鬼蛛 <i>Neoscona nautica</i>	黑色或黑褐色橫斑。	

表 3

二、校園蜘蛛分布研究

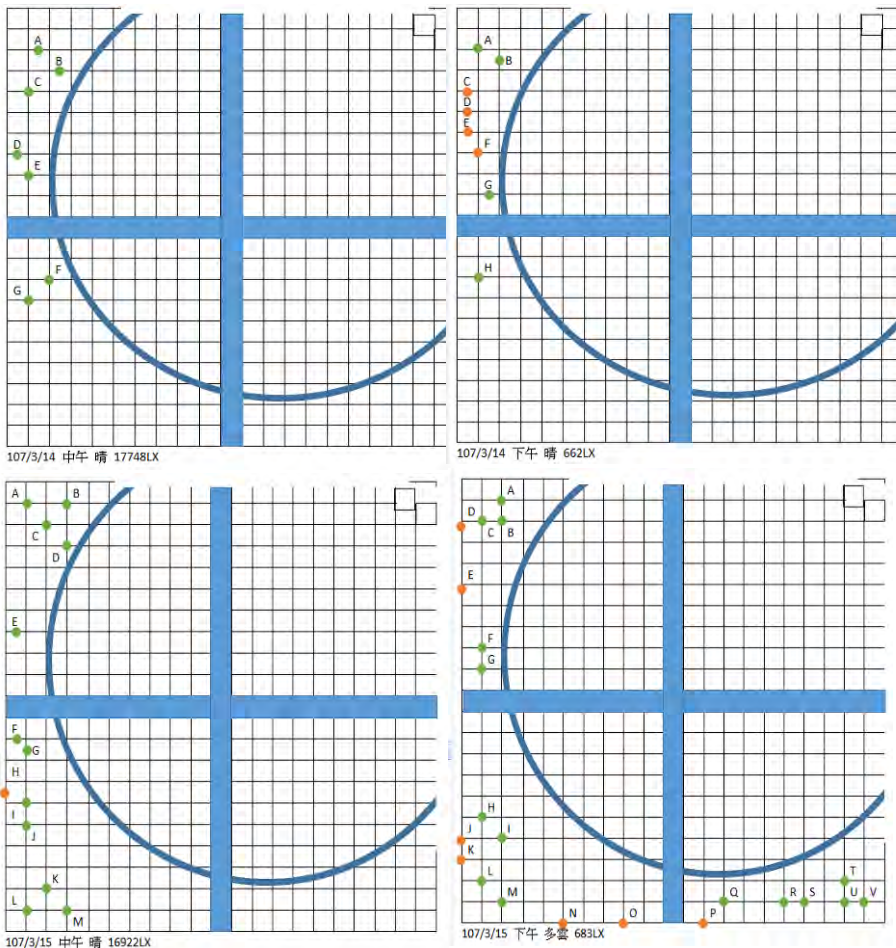
校園中我們選擇了兩個最多蜘蛛分布的區域, 由於每一個區域的植被狀況及環境不同, 因此我們對於不同區域繪製了不同的登記座標方式。其特色及登記方式如表 4。

表 4、校園蜘蛛分布各區域特色

花圃實驗登記表	活動中心實驗登記表
	
圓形的花圃環境, 有許多的小植株, 種植的種類以園藝類的植物為主, 座標中的圓弧狀為花圃的欄杆, 為半人造環境	為活動中心前方靠近地面的內窗, 周圍有牆壁及柱子, 為人工環境
蜘蛛種類以肩斑銀腹蛛和簷下姬鬼蛛為主	蜘蛛種類為大姬蛛

(一) 花圃的蜘蛛分布

花圃的蜘蛛種類以肩斑銀腹和簷下姬鬼蛛為主, 肩斑銀腹蛛的棲息地點以花圃中的植物為主, 簷下姬鬼蛛的棲息環境以花圃周圍的欄杆為主。每天我們記錄了中午和下午的位置分布(其座標為水平座標), 如下圖 1 所示(圖中綠色為肩斑銀腹蛛, 橘色為簷下姬鬼蛛)。



以 3.14 為例，1.肩斑銀腹蛛分布的區塊為左上方及中間左側，而簷下姬鬼蛛皆分布在最邊緣欄杆上。2.中午只有肩斑銀腹蛛，到了傍晚簷下姬鬼蛛的出現，肩斑銀腹蛛數量減少。3.不論中午或晚上，肩斑銀腹蛛及簷下姬鬼蛛的位置都沒有改變。

以 3.15 為例，1.肩斑銀腹蛛分布的區塊分布在左側，而簷下姬鬼蛛皆分布在最邊緣欄杆上。2.中午肩斑銀腹蛛數量多，到了傍晚簷下姬鬼蛛才逐漸出現在欄杆，肩斑銀腹蛛數量也增加。3.中午肩斑銀腹蛛分布在左側，到了下午逐漸移動到右下方。

圖 1、花圃蜘蛛的分布調查

分析後顯示，不論是肩斑銀腹蛛或簷下姬鬼蛛，中午或下午的照度與蜘蛛的數量，相關性不大，如圖 2。若以平均數量來看，肩斑銀腹蛛白天所觀察到的數量較多，下午所觀察到的數量較少；而簷下姬鬼蛛在白天的數量比較少，下午的數量比較多，如圖 3。而花圃中肩斑銀腹蛛出現的數量大於簷下姬鬼蛛，以肩斑銀腹蛛來看，第二象限數量 > 第三象限 > 第四象限；以簷下姬鬼蛛來看，第二象限數量 > 第三象限 > 第四象限，如圖 4。

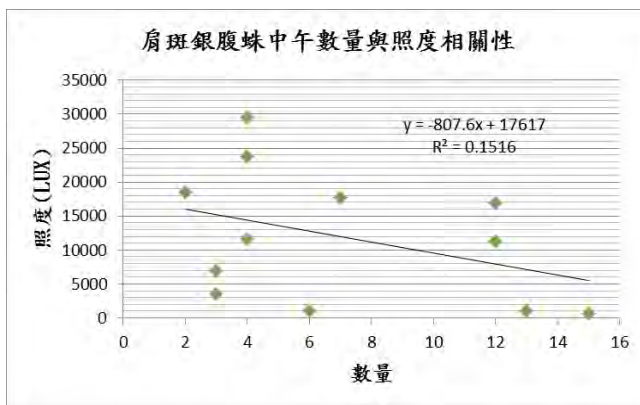


圖 2-1、花圃蜘蛛數量與環境照度相關性

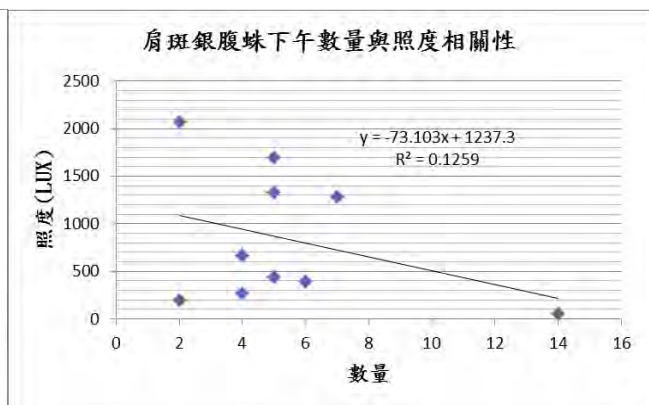


圖 2-2、花圃蜘蛛數量與環境照度相關性

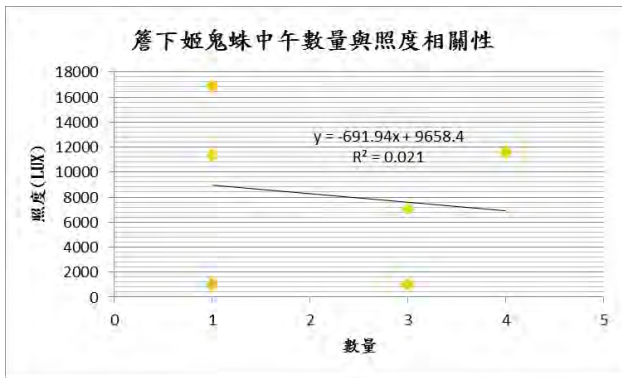


圖 2-3、花圃蜘蛛數量與環境照度相關性

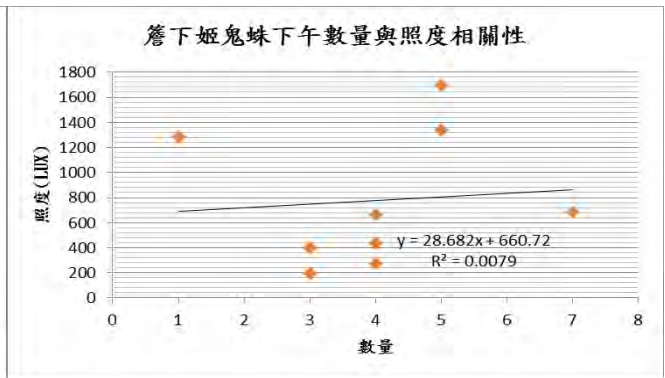


圖 2-4、花圃蜘蛛數量與環境照度相關性

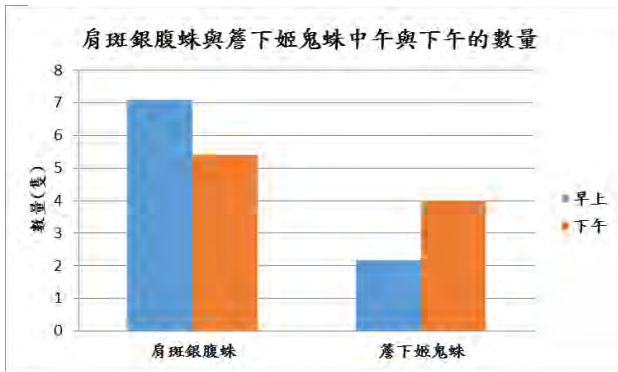


圖 3、花圃蜘蛛白天與下午的平均數量
(二)活動中心的蜘蛛分布

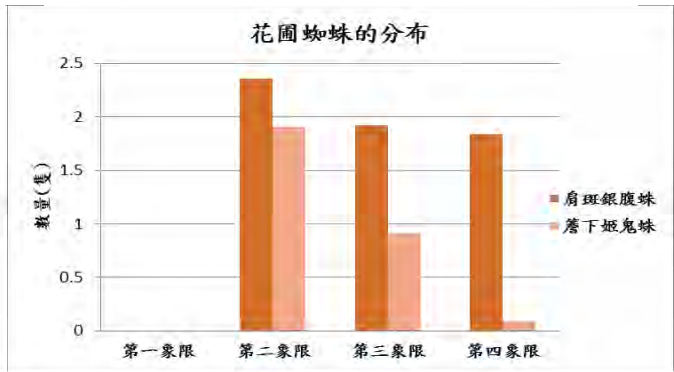
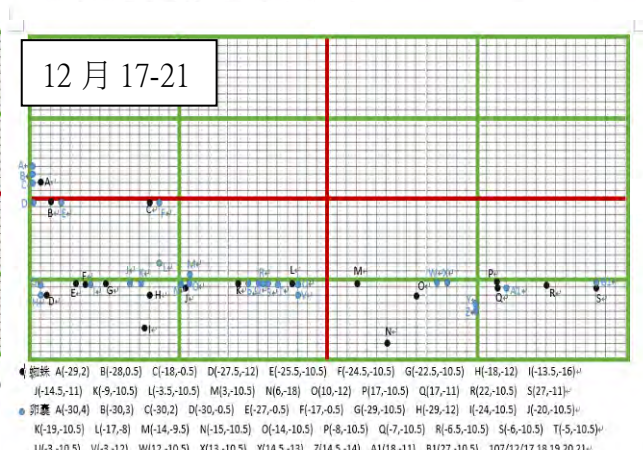
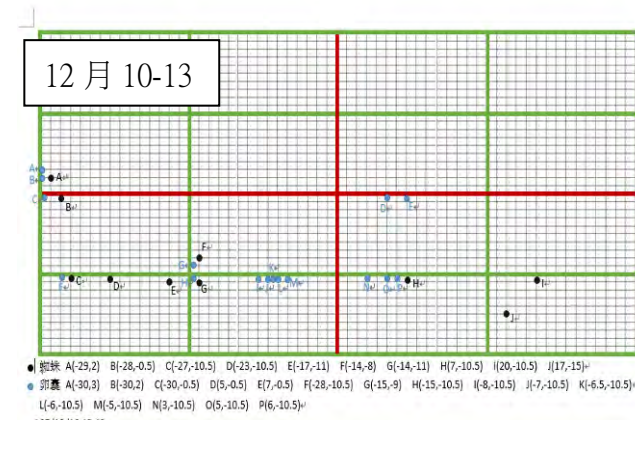
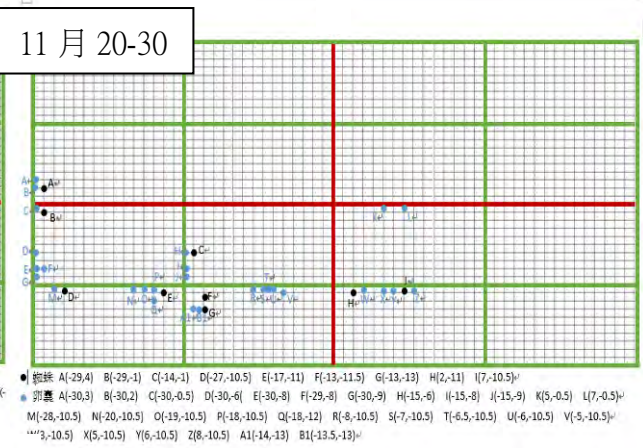
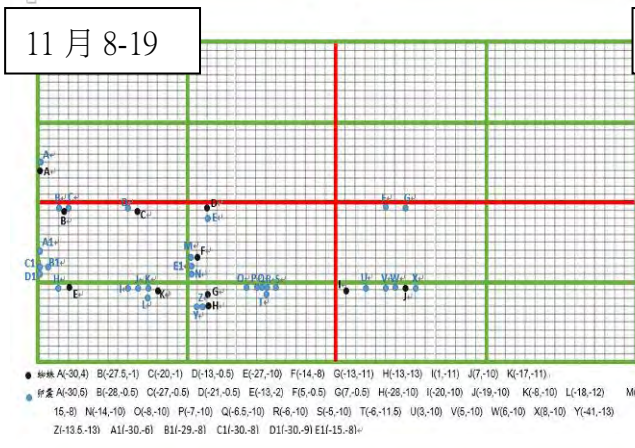


圖 4、花圃蜘蛛分布

活動中心的蜘蛛種類為大姬蛛，與其他地區最大的差別在於此為一個陰暗的環境。而在此處織網的大姬蛛皆為育幼的雌性蜘蛛。一隻母蛛通常會保護一顆以上的卵囊，並且在護卵期間待在卵的旁邊不移動。下圖為大姬蛛與卵囊之間的相對位置，其中藍色的為卵囊，黑色的為母蛛。



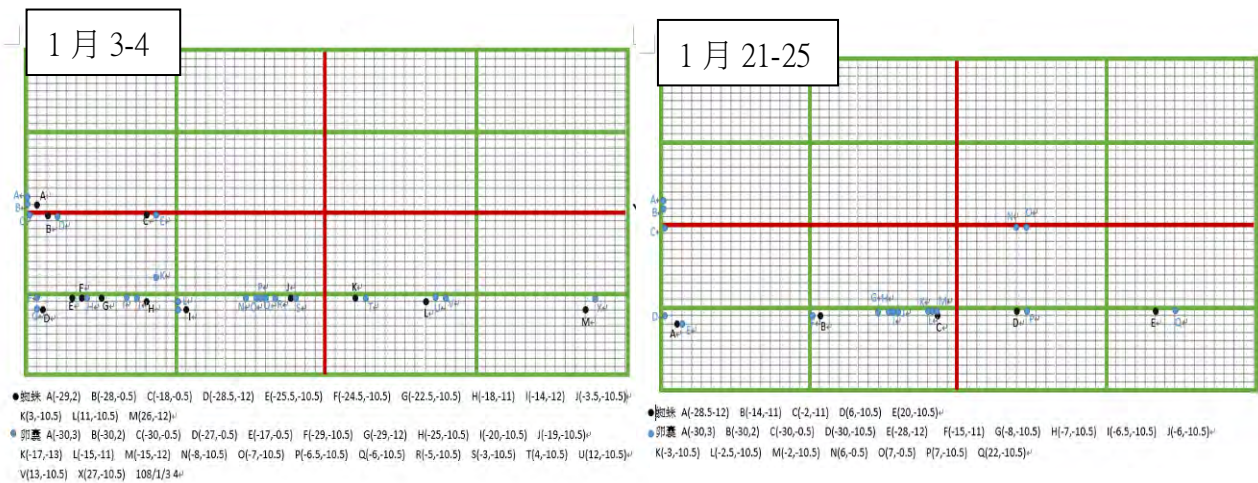
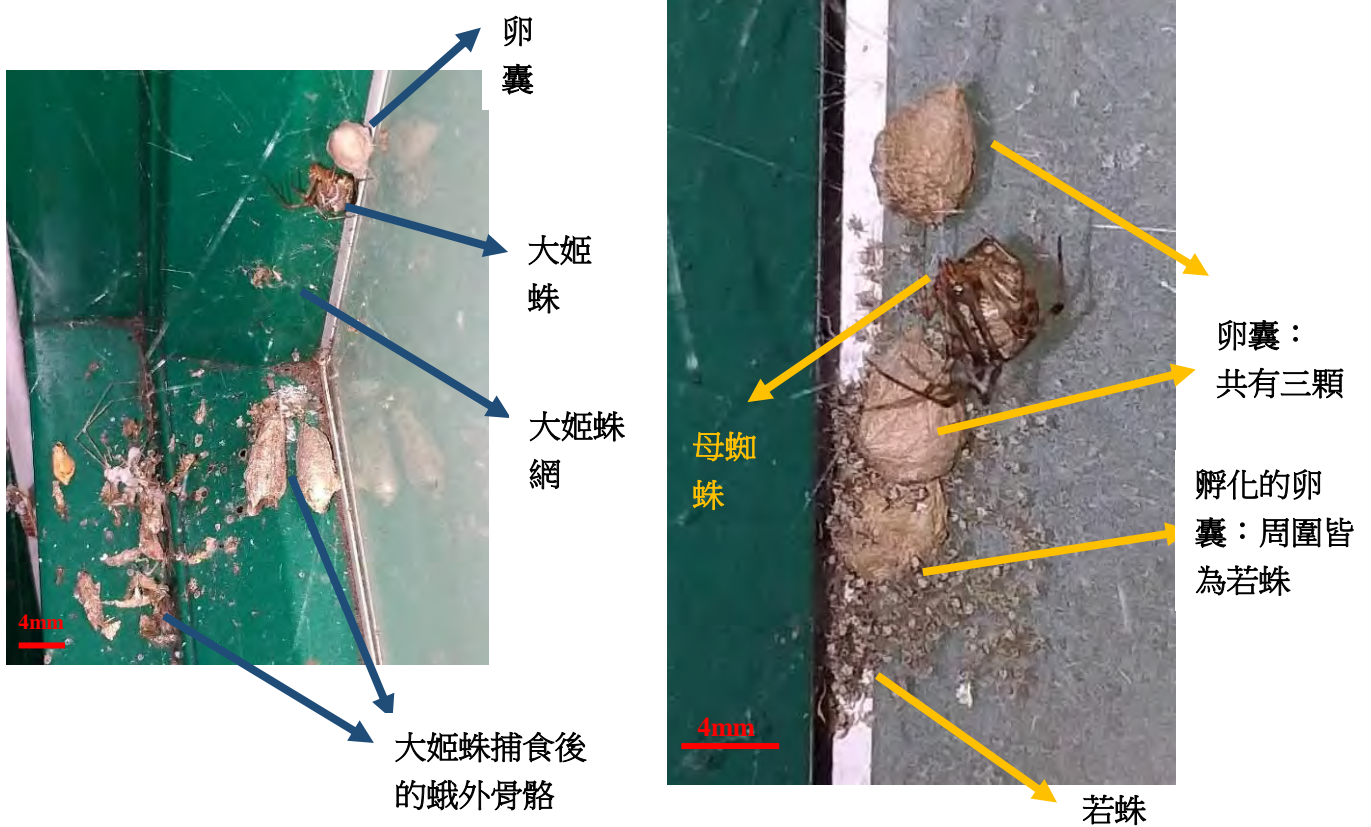


圖 5、活動中心大姬蛛與卵囊相關位置



在研究過程中，我們觀察到大姬蛛守護卵囊的位置，以及若蛛孵化後的狀況。左上圖為研究中我們在活動中心所觀察到的大姬蛛位置，織網的位置在兩個窗框旁，其卵囊接近窗框，而母蜘蛛會在自己所產的卵囊旁保護卵囊，其食用過的昆蟲屍體，皆會掉落在主網的下方。右圖的母蜘蛛擁有三個卵囊，可以觀察到，母蜘蛛十分的貼近卵囊，而最下方的卵囊已有若蛛孵化，並且散布在原本卵囊的周圍，甚至有些已遷移到母蛛的主網上。

1.大姬蛛的卵囊數目

經過觀察，我們發現在活動中心的大姬蛛，每隻母蜘蛛都產 1-4 顆不等的卵囊，而母蜘蛛都停留在自己的卵囊周圍，如表 5。

表 5、活動中心大姬蛛卵囊數量(單位：公分，編號為大姬蛛母蛛，數量為卵囊的數量，距離為母蛛與卵囊距離)

107/11/5-7				107/11/8-19				107/11/20-30				107/12/10-13			
編號	數量	距離	離地距離	編號	數量	距離	離地距離	編號	數量	距離	離地距離	編號	數量	距離	離地距離
A	1	1.000	144	A	1	1.000	144	A	2	1.825	144	A	2	1.207	132
B	2	0.707	114	B	2	0.707	114	B	1	1.118	114	B	1	2.000	117
C	1	1.118	114	C	1	1.118	114	C	3	6.744	114	C	1	1.000	57
D	1	1.000	114	D	1	1.500	117	D	1	1.000	57	F	1	1.414	72
F	1	1.000	60	E	1	1.000	60	E	4	1.909	54	G	1	1.118	54
G	2	1.500	72	F	3	1.300	72	G	2	0.750	42	H	3	2.330	57
I	2	0.750	42	H	2	0.750	42	H	1	1.118	54				
J	1	2.236	54	J	3	3.667	60	I	3	1.330	57				
K	3	1.330	60	K	4	6.838	54								
L	4	2.057	54												
107/12/17-21				108/1/3-4				108/1/21-25							
編號	數量	距離	離地距離	編號	數量	距離	離地距離	編號	數量	距離	離地距離				
A	3	1.550	132	A	3	1.702	132	A	2	1.250	48				
B	1	1.414	123	B	1	1.000	117	B	1	1.000	54				
C	1	1.000	117	C	1	1.000	117	C	3	0.775	54				
D	2	1.811	48	D	2	1.041	48	D	1	1.000	57				
H	2	2.151	48	H	2	1.590	54	E	1	2.000	57				
J	3	0.998	54	I	2	1.207	48								
L	2	1.041	57	J	1	0.500	57								
O	2	2.927	48	K	1	1.000	57								
S	1	0.500	54	L	2	1.500	57								
				M	1	1.803	48								

研究的期間，發現 11 月的卵囊數量最多 > 12 月卵囊數量 > 1 月。其中數量最大的為 107/11/8-19 之間，有 19 顆卵囊，而最少的為 108/1/21-25 之間，有 8 顆卵囊。

產 1 顆卵囊的有 28 隻，產 2 顆的有 17 隻，產 3 顆的有 10 隻，產 4 顆的有 3 隻。每隻母蜘蛛每次產卵的數量最多的為 1 顆，其次的為兩顆，再來為 3 顆，最後為 4 顆。結果顯示，母蜘蛛大多數每次產 1 顆的卵囊如圖 6~8。



圖 6、活動中心卵囊數量

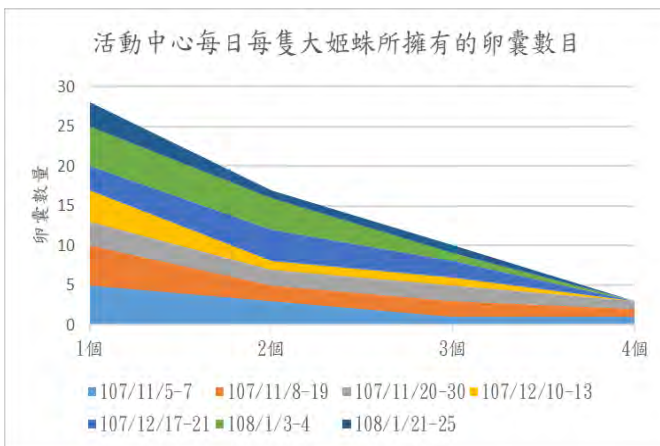


圖 7、活動中心每隻大姬蛛卵囊

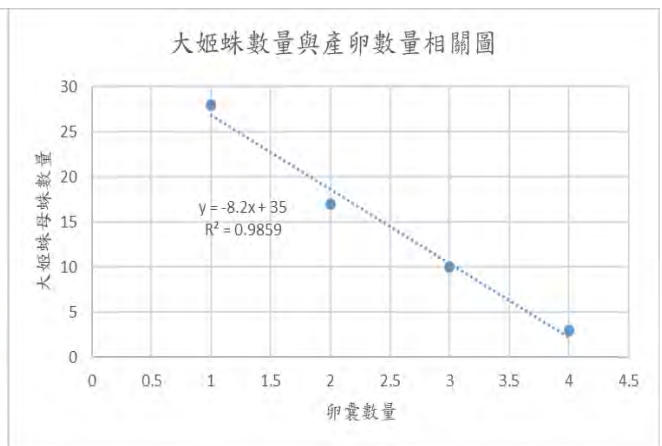
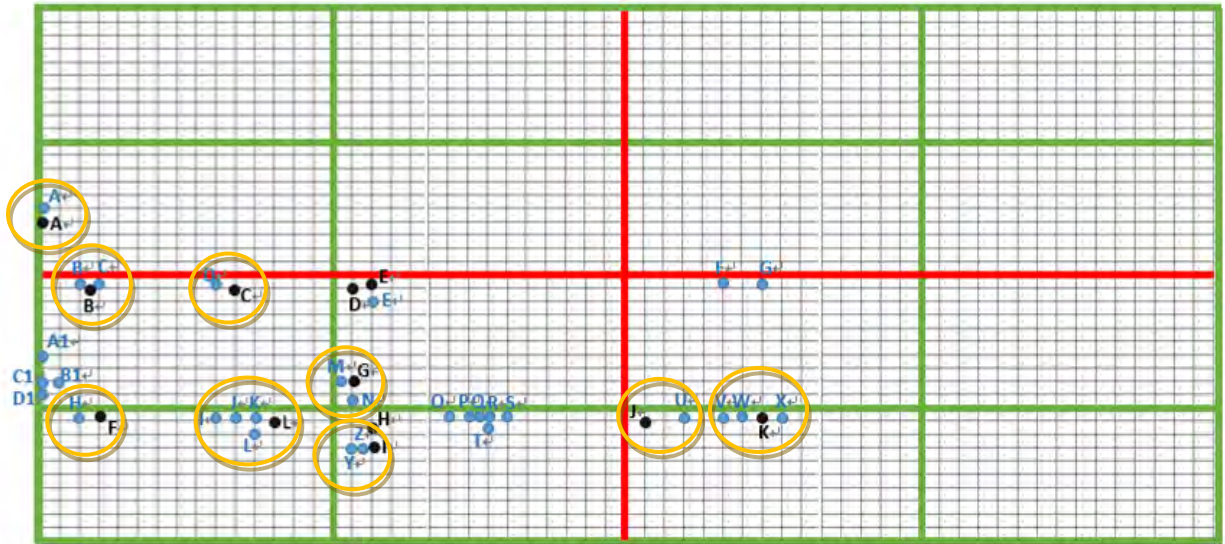


圖 8、每隻大姬蛛產卵數量相關

2.大姬蛛的卵囊分布

大姬蛛會在自己的卵囊旁，保護卵囊。因此母蛛與卵囊之間的距離，是我們在研究中非常好奇的部分，研究期間紀錄了母蛛與卵囊的座標，觀察到的現象以 107/11/5~7 日為例子，從圖中的座標位置可以發現，母蛛都位於自己的卵囊周圍，如下圖 9 所示。黃色的圈為母子關係，藍色為卵囊，黑色為母蛛。



● 母蛛 A(-30,4) B(-27.5,-1) C(-20,-1) D(-14,-1) E(-13,-0.5) F(-27,-10) G(-14,-8) H(-13,-11) I(-13,-13) J(1,-11) K(7,-10) L(-17,-11),
 ● 卵囊 A(-30,5) B(-28,-0.5) C(-27,-0.5) D(-21,-0.5) E(-13,-2) F(5,-0.5) G(7,-0.5) H(-28,-10) I(-20,-10) J(-19,-10) K(-8,-10) L(-18,-12)
 M(-15,-8) N(-14,-10) O(-8,-10) P(-7,-10) Q(-6.5,-10) R(-6,-10) S(-5,-10) T(-6,-11.5) U(3,-10) V(5,-10) W(6,-10) X(8,-10) Y(-41,-13)
 Z(-13.5,-13) A1(-30,-6) B1(-29,-8) C1(-30,-8) D1(-30,-9)

圖 9、107/11/5-7 日大姬蛛與卵囊相對位置分布

(1)不同卵囊數量，大姬蛛與卵囊的幾何位置相關性

我們進一步觀察所有母蛛與卵囊之間的相對位置，分析 1-4 顆不同卵囊數目，母蜘蛛與卵囊之間的位置是否有差異，以母蛛和卵囊之間的方位以及角度為分析重點。如表 6：

表 6、大姬蛛母蛛與不同卵囊數量的相對位置(藍色為卵囊，黑色為母蛛)

	第一類：在母蛛的上下左右				第二類：在母蛛的斜上方或斜下方	
	上	左	右	下	斜上方	斜下方
一顆卵囊						
	第一類： 卵囊排列 在同一直線上	第二類： 卵囊在母蛛兩側 垂直分布	第三類： 卵囊在母蛛的兩 側非垂直分布	第四類： 母蛛與卵 囊垂直	第五類： 卵囊在同 側	
二顆卵囊						
	第一類：母蛛與 卵囊在同一直 線上	第二類：卵囊在母蛛 的同一側，卵囊間距 離較遠	第三類：卵囊在母 蛛的同一側	第四類：母蛛與其中兩 顆卵囊較近，另一顆在 斜對角		

三顆卵囊				
四顆卵囊	卵囊在母蛛的同一側			

(2)不同卵囊數量與大姬蛛與卵囊的距離相關性

我們分析了大姬蛛母蛛所保護的卵囊數量與卵囊距離的線性關係，分析後發現大姬蛛產卵數目與卵囊距離呈正相關。大姬蛛產卵數量越多其距離卵囊越遠，如圖 10。

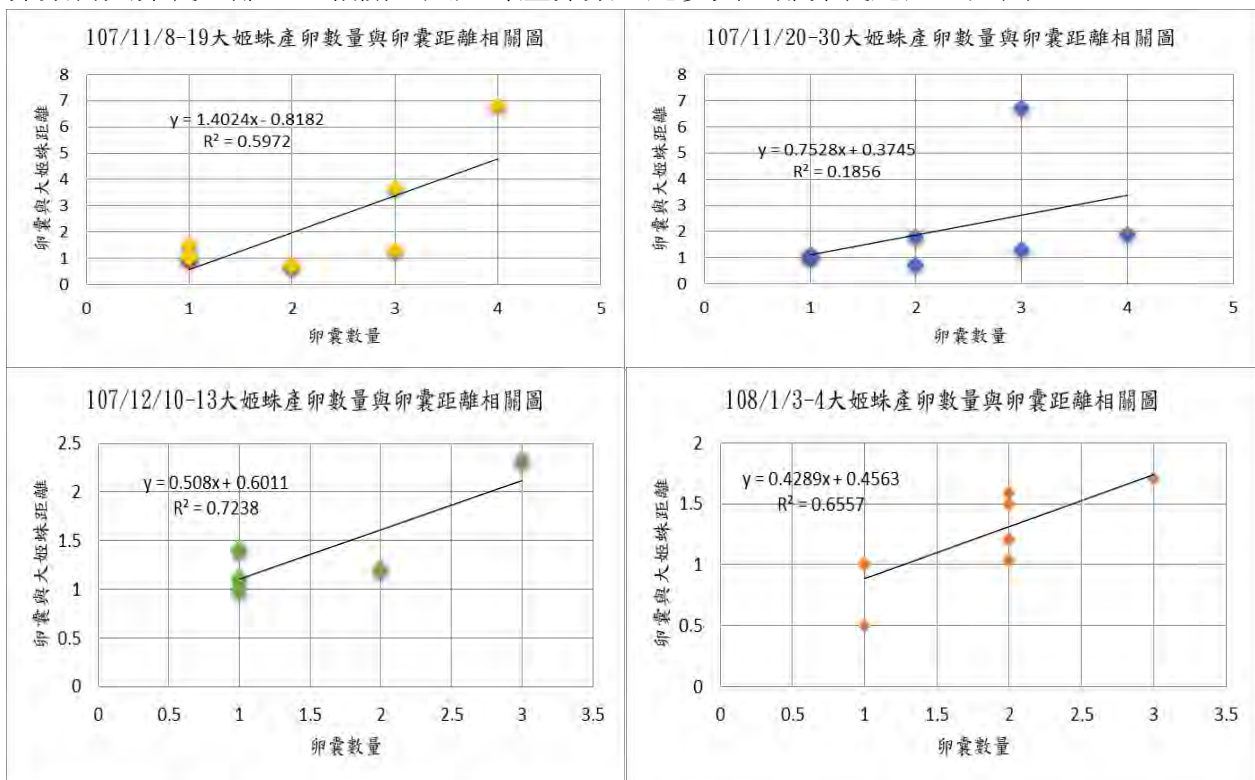


圖 10、大姬蛛產卵數量與卵囊距離線性關係

(3)不同卵囊數量與大姬蛛離地高度相關性

我們將兩個因素進行線性分析，分析後發現卵囊數量與大姬蛛離地高度相關性不大，如圖 11。

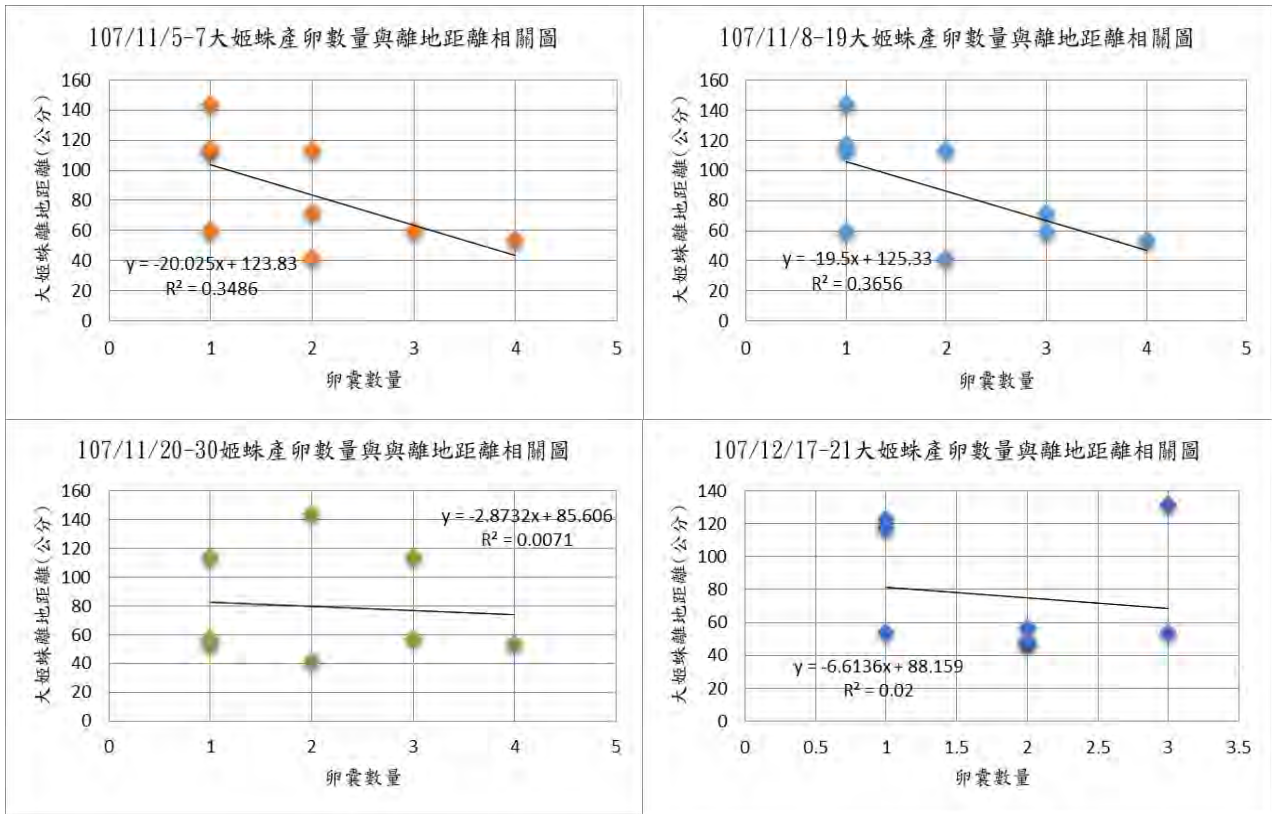


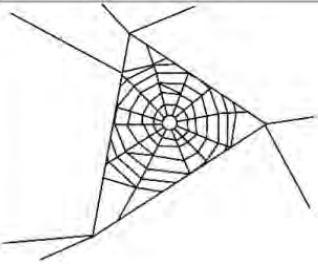
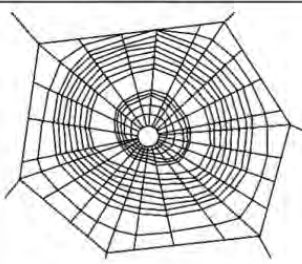
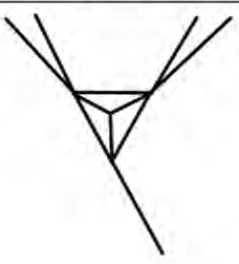
圖 11、大姬蛛產卵數量與離地距離相關

三、大姬蛛蛛網的拓撲研究

(一)校園常見蜘蛛的蛛網特色及卵囊位置

校園中最常見的蜘蛛為肩斑銀腹蛛、簷下姬鬼蛛以及大姬蛛。三種蜘蛛的棲息環境不同，肩斑銀腹蛛偏好在植物上結網，簷下姬鬼蛛偏好在欄杆上，大姬蛛偏好在較陰暗的人造環境結網及育幼。表 7 為研究期間觀察到的蛛網特色，其中大姬蛛為不規則網，與另外兩種的圓網差異最大，大姬蛛不規則網對我們而言是極具吸引力。

表 7、校園蜘蛛蛛網特色

蜘蛛名稱	肩斑銀腹蛛	簷下姬鬼蛛	大姬蛛
蛛網外觀			
蛛網特色	圓網	圓網	不規則網

(二)大姬蛛網的結構：蜘蛛網是多功能結構，其主要功能是消散衝擊獵物的動能，以達到最小化結構損壞狀況，如圖 12。蜘蛛絲非凡的力量和延展性是因為很多因素造成的。然而，很明顯拓撲結構在撞擊時的結構性能是決定性的，並且不同絲線的佈置也會發揮作用。蜘蛛網的幾何形狀的微小變化會影響蜘蛛網狀物的捕食能力。大多數的校園蜘蛛都是圓網蛛，而大姬蛛是結不規則網的蜘蛛。



牽引絲

牽引絲

縱絲

牽引絲
平分線

框架

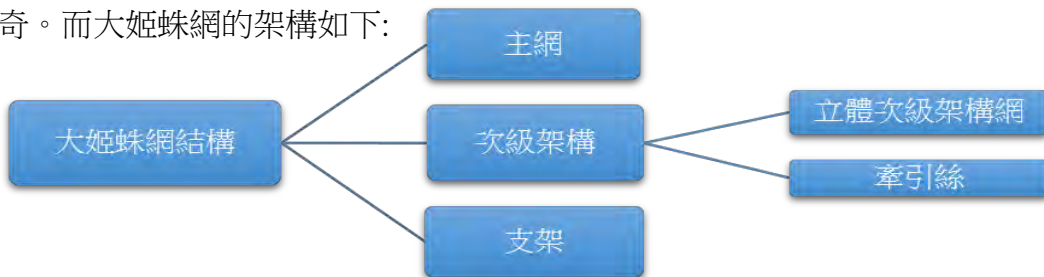
次級架構

橫絲

圖 13、圓網架構

圖 12、大姬蛛不規則網

以圓網為例，如右上圖 13 所示，周圍的次級結構為牽引絲，並且構成框架，而穩固中間的主網結構。圓網是最常見的蜘蛛網，其結構已有很多人研究過，也因此我們對於不規則網產生好奇。而大姬蛛網的架構如下：



利用 GGB 立體的結構完成 20 個大姬蛛的網，其中 16 個網為自然環境中的網，另外 4 個網為捕捉野生大姬蛛放置在飼養箱中所織的網。我們依上表的架構，將這 20 個網歸納分類成三個形狀：吊帶型、三角體、星型。

1.三角體定義：牽引絲的附著點，最少必須滿足下列四種條件其中之一：左與下、左與上、右與上、右與下。必須有主網及立體次級架構。蜘蛛網的環境必須在有一個小於 90 度的夾角處，如圖 14。

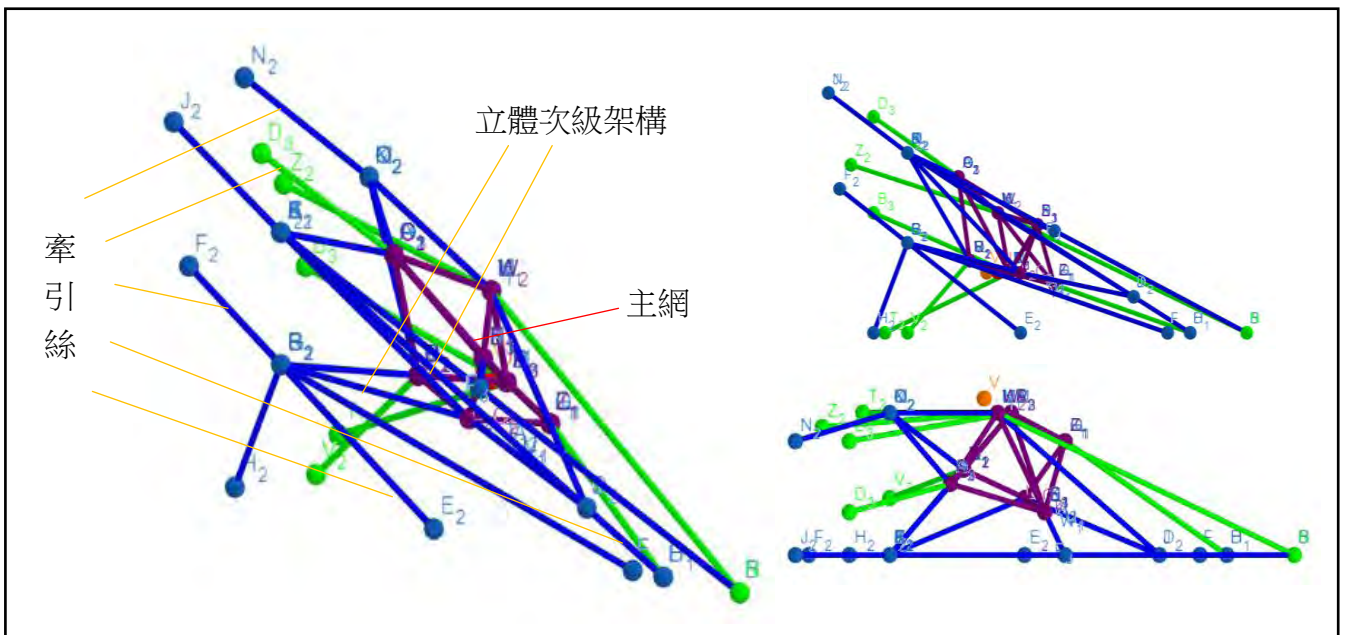


圖 14、大姬蛛不規則三角體網

2.吊帶型定義：牽引絲附著點不固定。必須有主網，但沒有立體次級架構，如圖 15。

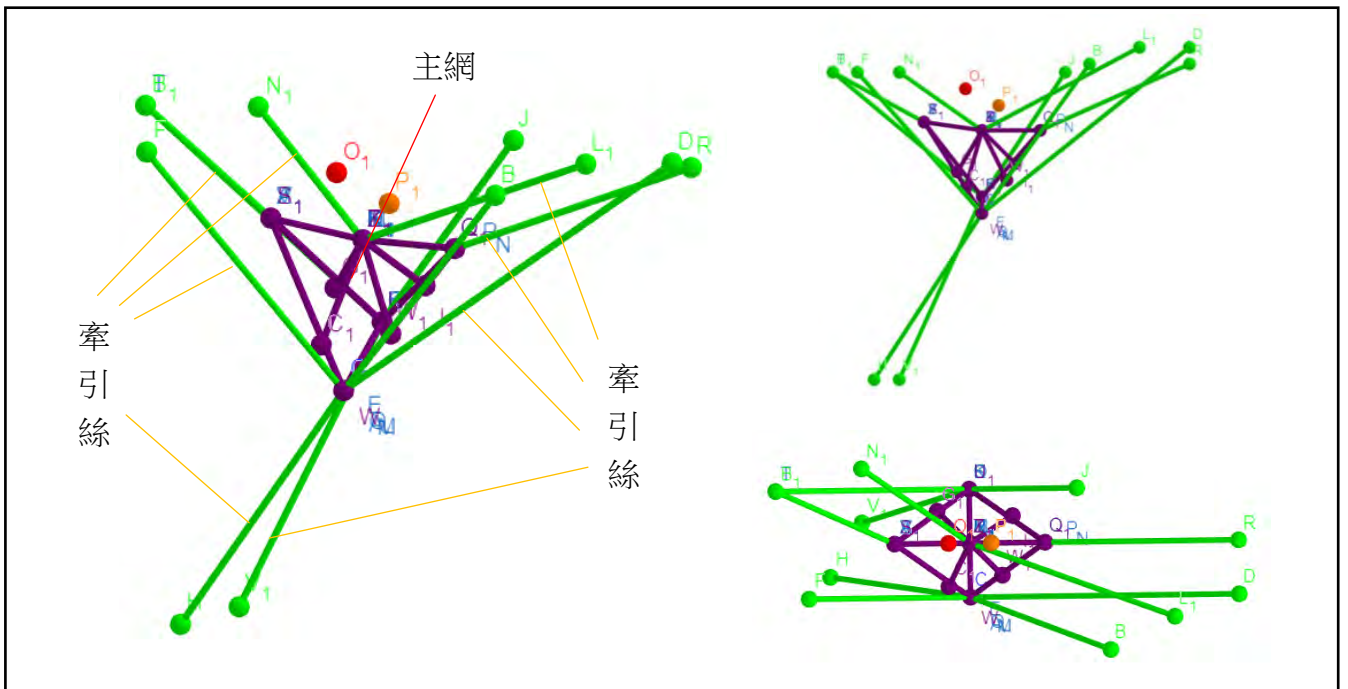


圖 15、大姬蛛不規則吊帶型網

3.星型定義：牽引絲的附著點一定要有上、下、左、右。一定有主網及立體次級架構，如圖 16。

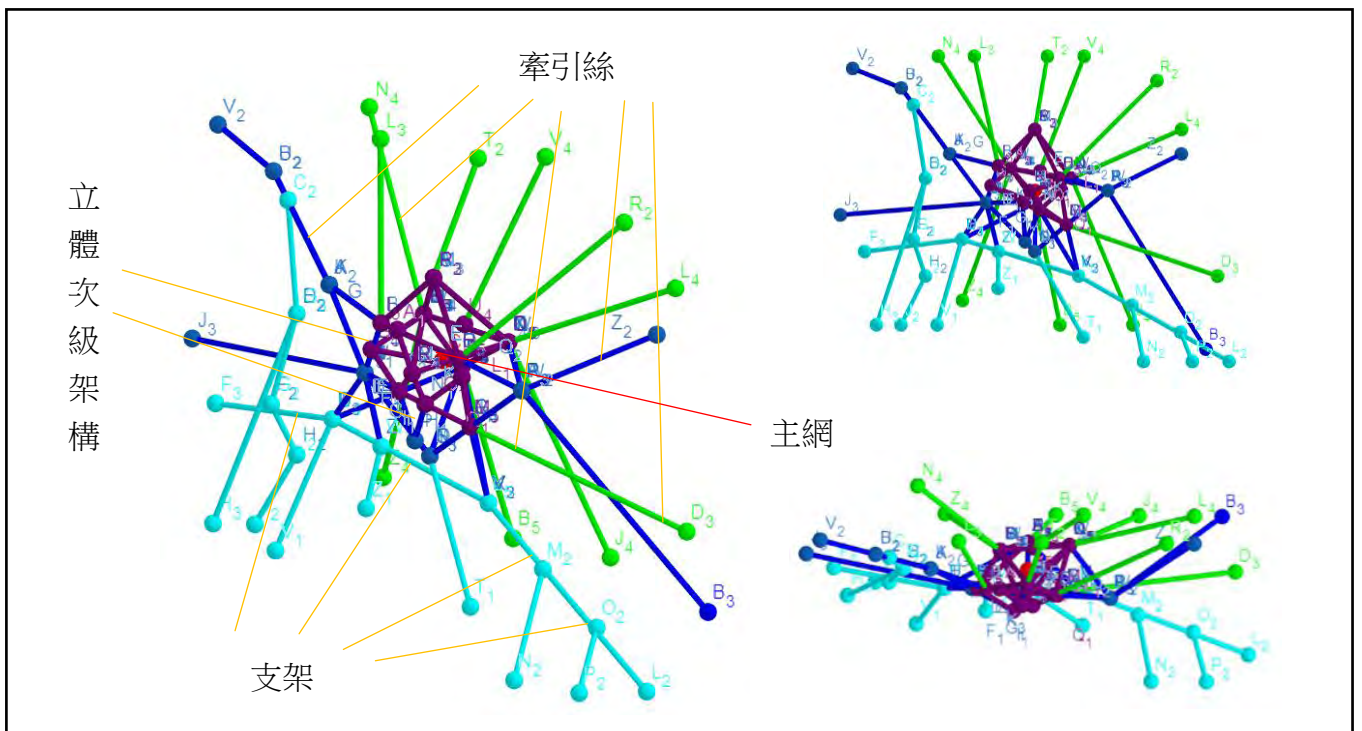
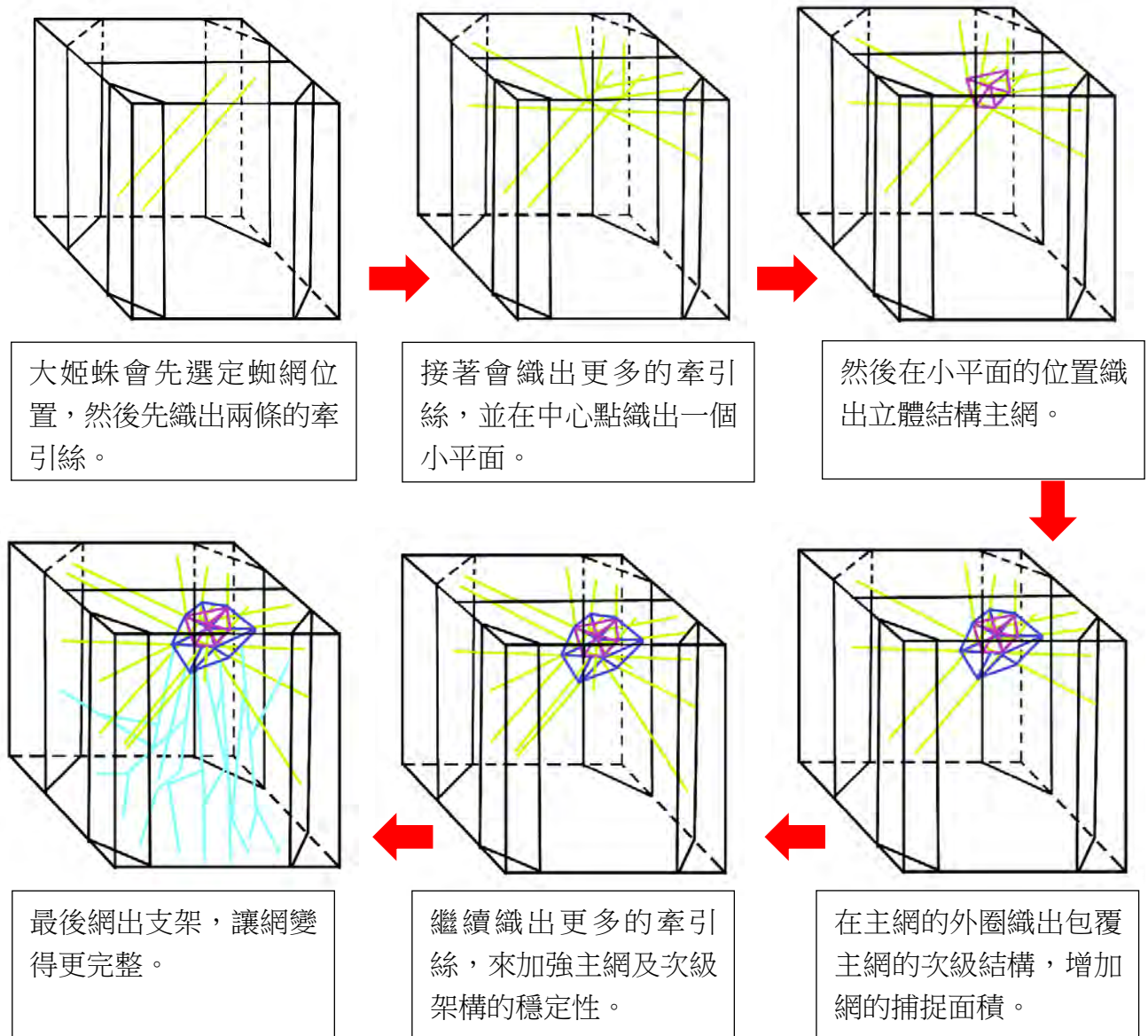


圖 16、大姬蛛不規則星型網

(三)大姬蛛的織網過程：我們在飼養當中，觀察織網的過程，以最常見的星型網為例。



(四)大姬蛛網的基本架構數值測量：我們要知道不規則大姬蛛網，有沒有特定的形狀外，也想知道大姬蛛在織網過程中與結構上，有沒有特定的規律。將大姬蛛網分為六部份：測量附著角度的牽引絲、牽引絲的角度、立體主網結構、最大立體平面主網、立體次級架構、支架。如圖 17：

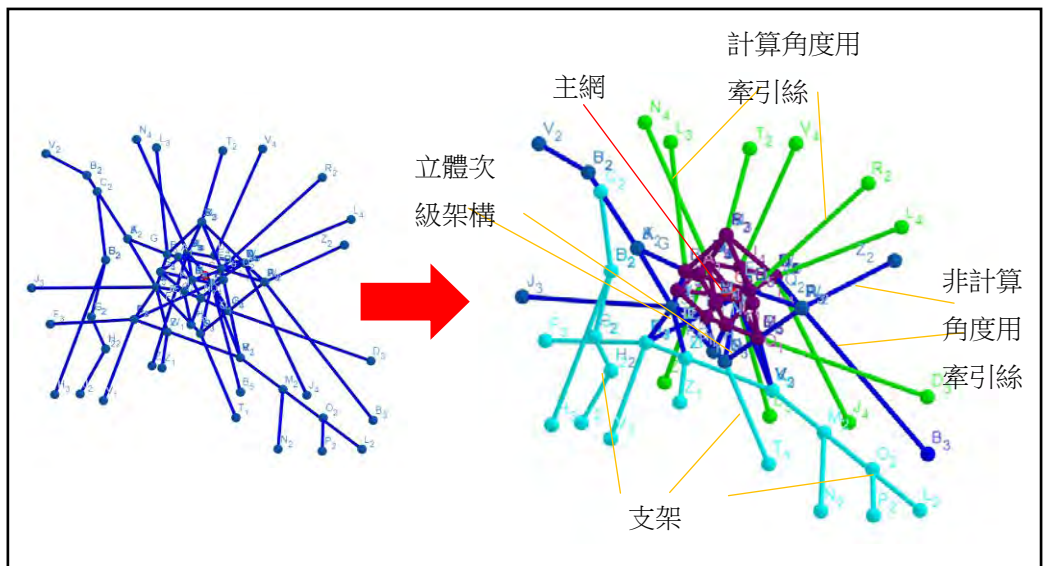


圖 17、大姬蛛網 GGB 劃分圖示

圖中綠色部份為計算附著角度的牽引絲；藍色部份為立體次級架構與無計算角度牽引絲；紫色部份為立體主網結構與最大立體平面主網；天藍色部份為支架。

1. 架構的功能與特徵：

(1) 牽引絲—在蜘蛛網的外圍與附著面直接連接，是蜘蛛網最主要的支撐結構，其中我們用來計算附著角度用的牽引絲，是直接連接到主網的牽引絲，而其他未直接連接到主網的牽引絲，則不列入計算。

(2) 主網—其立體主網結構，有各種拓撲形狀，為蜘蛛與卵囊的所在位置，我們將其中最大平面設為最大立體平面主網。

(3) 次級架構—包圍整個主網，結合主網成為主要捕捉獵物區。

(4) 支架—整個蜘蛛網完成後，為加強蜘蛛網而織出的結構，可捕捉地面上的獵物，但並非有必然存在性。

2. 基本架構數值測量：計算牽引絲的平均長度，以及每個角的平均角度，大於平均長度的牽引絲為長牽引絲，小於為短牽引絲。計算長牽引絲四種角的平均，與短牽引絲四種角的平均，接著與平均角度做比較，發現兩者一定有一個大於平均角度，另一個小於平均角度，但四種角的比較結果並無規律性，如表 8。

表 8、大姬蛛不規則網的角度及牽引絲數據(單位：公分)

編號	網型	大角平均	長絲平均	短絲平均	小角平均	長絲平均	短絲平均	左角平均	長絲平均	短絲平均	右角平均	長絲平均	短絲平均
1	三角體	134.57	140.667	130	45.42	39.333	50	95.42	49.333	130	84.57	130.667	50
2	三角體	144.88	144.833	145	35.11	35.167	35	44	35.167	61.667	136	144.833	118.333
3	星型	127.44	115.333	133.5	52.55	64.667	46.5	83.44	106.667	71.833	96.55	73.333	108.167
4	吊帶型	132.88	134	132.333	47.11	46	47.667	114.4	134	104.667	65.5	46	75.333
5	吊帶型	136.27	132	143.75	43.72	48	36.25	53.72	63.714	36.25	126.27	116.286	143.75
6	三角體	119.37	112.75	126	60.62	67.25	54	105.12	93.75	116.5	74.87	86.25	63.5
7	吊帶型	120.28	123	119.2	59.71	57	60.8	90.57	109	83.2	89.42	71	96.8
8	三角體	132.33	136.333	128.333	47.66	43.667	51.667	107.33	136.333	78.333	72.66	43.667	101.667
9	星型	122.85	131.333	116.25	57.14	48.333	63.75	94	97.667	91.25	86	82.333	88.75
10	吊帶型	135.3	130.857	145.333	44.7	49	34.667	77.3	82.714	64.667	102.7	97.286	115.333
11	星型	109.55	120	104.333	70.44	60	75.667	80	82.667	78.667	100	97.333	101.333
12	吊帶型	128.5	115.333	141.667	51.5	64.667	38.333	101.5	115.333	87.667	78.5	64.667	92.333
13	三角體	121.5	145	113.667	58.5	35	66.333	58.5	35	66.333	121.5	145	113.667
14	星型	99.85	97.25	103.333	80.14	82.75	76.667	88.42	97.25	76.667	91.57	82.75	103.333
15	星型	112.2	115	101	67.8	65	79	81.6	79.75	89	98.4	100.25	91
16	三角體	125	124	125.5	55	56	54.5	72.3	56	80.5	107.6	124	99.5
17	星型	127.2	134	122.667	52.8	46	57.333	121.2	119	122.667	58.8	61	57.333
18	三角體	106.42	110.667	104	73.14	69.333	76	77.42	69.333	83.5	102.57	110.667	96.5
19	星型	100.66	91	105.5	79.33	89	74.5	79.33	89	74.5	100.66	91	105.5
20	吊帶型	140.5	156	125	39.5	24	55	74.5	24	125	105.5	156	55

我們再將上方與左方牽引絲取右角，下方與右方的牽引絲取左角，重新計算取角的平均，發現短牽引絲的角平均大於長牽引絲的角平均為多數。之後重新定義牽引絲的方位，重複上述全部過程，結果發現短牽引絲的角平均大於長牽引絲的角平均，以及取角平均，如表 9。

表 9、大姬蛛不規則網數據(單位：公分)

編號	網型	取角平均	長牽引絲平均	短牽引絲平均	編號	網型	取角平均	長牽引絲平均	短牽引絲平均
1	三角體	75.429	39.333	102.5	11	星型	75.333	60	83
2	三角體	105.333	70.833	145	12	吊帶型	79.167	66	92.333
3	星型	106.22	94.33	112.16	13	三角體	127.75	126	131
4	吊帶型	55	43	61	14	星型	97.14	96.75	97.66
5	吊帶型	136.273	132	143.75	15	星型	84.8	83.25	91
6	三角體	76.5	68.25	84.75	16	三角體	85	56	99.5
7	吊帶型	79.143	71	82.4	17	星型	52.8	46	57.333
8	三角體	112.33	106.33	118.33	18	三角體	78.857	72.667	83.5
9	星型	72.86	62.33	107.66	19	星型	81.67	80	82.5
10	吊帶型	84.1	70.714	115.333	20	吊帶型	65	64	66

我們計算綠色部份每條牽引絲的大角、小角、左角、右角(如圖 18)，將這些角與牽引絲的長度，做一個相關性的比較，發現少部份有相關性，但大部份沒有，如表 10，其中黃色的區塊相關性大於 $R^2=0.5$ 。

表 10、不同大姬蛛網角度與牽引絲長度相關性

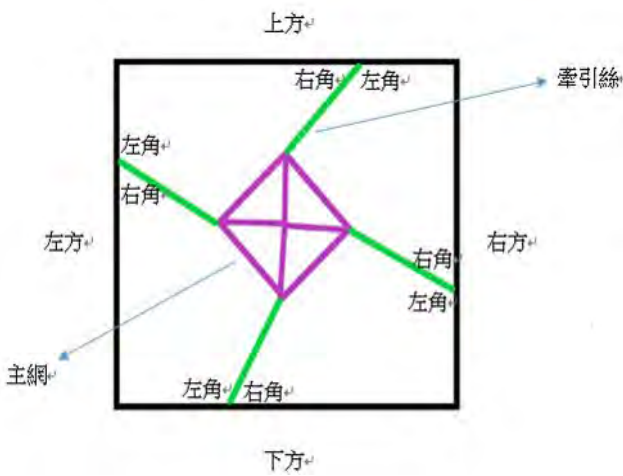


圖 18、牽引絲角度取法

編號	網型	大角 R^2	小角 R^2	左角 R^2	右角 R^2
1	三角體	$R^2 = 0.1878$	$R^2 = 0.1878$	$R^2 = 0.5782$	$R^2 = 0.5782$
2	三角體	$R^2 = 0.0607$	$R^2 = 0.0607$	$R^2 = 0.0311$	$R^2 = 0.0311$
3	星型	$R^2 = 0.1699$	$R^2 = 0.1699$	$R^2 = 0.2601$	$R^2 = 0.2601$
4	吊帶型	$R^2 = 0.1672$	$R^2 = 0.1672$	$R^2 = 0.1666$	$R^2 = 0.1666$
5	吊帶型	$R^2 = 0.0926$	$R^2 = 0.0926$	$R^2 = 0.0855$	$R^2 = 0.0855$
6	三角體	$R^2 = 0.1237$	$R^2 = 0.1237$	$R^2 = 0.058$	$R^2 = 0.058$
7	吊帶型	$R^2 = 0.027$	$R^2 = 0.027$	$R^2 = 0.002$	$R^2 = 0.002$
8	三角體	$R^2 = 0.003$	$R^2 = 0.003$	$R^2 = 0.6099$	$R^2 = 0.6099$
9	星型	$R^2 = 0.5076$	$R^2 = 0.5076$	$R^2 = 0.1047$	$R^2 = 0.1047$
10	吊帶型	$R^2 = 0.0219$	$R^2 = 0.0219$	$R^2 = 0.015$	$R^2 = 0.015$
11	星型	$R^2 = 0.0651$	$R^2 = 0.0651$	$R^2 = 0.0174$	$R^2 = 0.0174$
12	吊帶型	$R^2 = 0.1602$	$R^2 = 0.1602$	$R^2 = 0.0489$	$R^2 = 0.0489$
13	三角體	$R^2 = 0.8217$	$R^2 = 0.8217$	$R^2 = 0.8217$	$R^2 = 0.8217$
14	星型	$R^2 = 0.1021$	$R^2 = 0.1021$	$R^2 = 0.4518$	$R^2 = 0.4518$
15	星型	$R^2 = 0.2952$	$R^2 = 0.2952$	$R^2 = 0.0473$	$R^2 = 0.0473$
16	三角體	$R^2 = 0.0498$	$R^2 = 0.0498$	$R^2 = 0.0589$	$R^2 = 0.0589$
17	星型	$R^2 = 0.1005$	$R^2 = 0.1005$	$R^2 = 6E-05$	$R^2 = 6E-05$
18	三角體	$R^2 = 0.0817$	$R^2 = 0.0817$	$R^2 = 0.0001$	$R^2 = 0.0001$
19	星型	$R^2 = 0.9064$	$R^2 = 0.9064$	$R^2 = 0.9064$	$R^2 = 0.9064$
20	吊帶型	因只右兩條牽引絲故無法比較			

(五)大姬蛛主網的拓撲模式：使用 GGB 觀察立體主網的形狀為幾面體，以及計算它的面積。其主網的拓撲種類如下：(拓撲式的每個數字，為立體主網其中一面的頂點數)

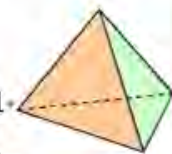
拓撲式：3
 一面體
 三角形
 三角體網持有數：0
 星型網持有數：0
 吊帶型網持有數：2



拓撲式：5
 一面體
 五角形
 三角體網持有數：0
 星型網持有數：1
 吊帶型網持有數：0



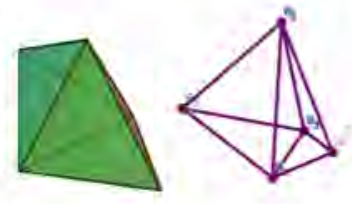
拓撲式：3,3,3,3
 四面體
 三角椎
 三角體網持有數：1
 星型網持有數：0
 吊帶型網持有數：1



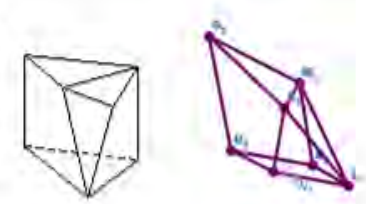
拓撲式：4,3,3,3,3
 五面體
 稜椎體
 三角體網持有數：4
 星型網持有數：0
 吊帶型網持有數：2



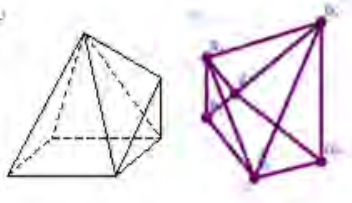
拓撲式：3,3,3,3,3,3,3,3
 六面體
 雙三角椎
 三角體網持有數：0
 星型網持有數：1
 吊帶型網持有數：0



拓撲式：4,4,4,3,3,3,3,3
 七面體
 三角椎柱
 三角體網持有數：1
 星型網持有數：0
 吊帶型網持有數：0



拓撲式：4,3,3,3,3,3,3,3
 七面體
 三角椎柱
 三角體網持有數：0
 星型網持有數：1
 吊帶型網持有數：1



拓撲式：4,3,3,3,3,3,3,3,3
 九面體
 詹森多面體
 三角體網持有數：0
 星型網持有數：1
 吊帶型網持有數：0



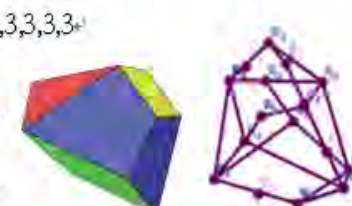
拓撲式：4,4,4,3,3,3,3,3,3,3
 九面體
 詹森多面體
 三角體網持有數：0
 星型網持有數：1
 吊帶型網持有數：0



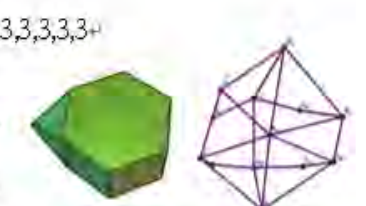
拓撲式：3,3,3,3,3,3,3,3,3,3,3
 十面體
 雙椎體
 三角體網持有數：0
 星型網持有數：1
 吊帶型網持有數：0



拓撲式：4,4,4,4,4,4,4,3,3,3,3,3
 十一面體
 空間充填多面體
 三角體網持有數：0
 星型網持有數：1
 吊帶型網持有數：0



拓撲式：4,4,4,4,3,3,3,3,3,3,3,3
 十二面體
 雙四角椎柱
 三角體網持有數：1
 星型網持有數：0
 吊帶型網持有數：0



1.實驗中研究的網形裡面三角體為外型架構的蛛網，其主網有四種不同的拓撲結構；星型為外型架構的蛛網，其主網有七種不同的拓撲結構；吊帶型為外型架構的蛛網，其主網有四種不同的拓撲結構，如圖 19。而立體主網架構中，以稜椎體的數量為最多，如圖 20。

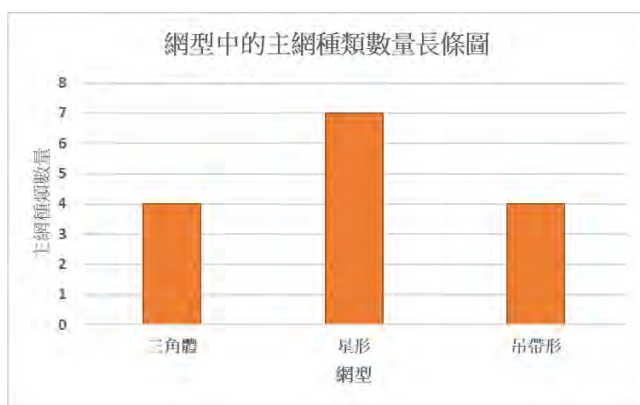


圖 19、大姬蛛三種外型架構其主網類型數量

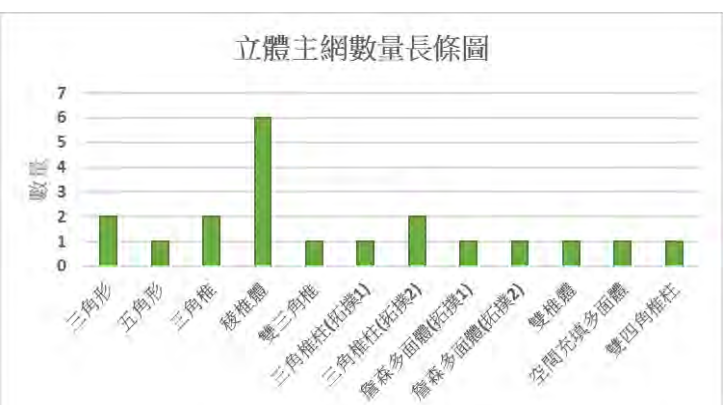


圖 20、大姬蛛主網拓撲數量

2.將主網牽引絲的數量、平均長和它的立體主網、最大立體平面主網以及網面積互相做一個相關性比較，發現到牽引絲的平均長度和立體主網及最大立體網面積的相關性較大，如表 11，因此我們再將這兩個去做更深一步的比較。

表 11、大姬蛛蛛網數值的相關性

相關性種類	相關式	R ² 值
牽引絲數量與網面積	$y = 1.5691x + 138.1$	$R^2 = 0.0107$
牽引絲數量與立體主網面積	$y = -1.1632x + 48.303$	$R^2 = 0.0849$
牽引絲數量與平面主網面積(含支架)	$y = -0.315x + 13.96$	$R^2 = 0.1079$
牽引絲數量與平面主網面積(不含支架)	$y = 0.0599x + 8.8019$	$R^2 = 0.0015$
立體主網面積與網面積	$y = 1.4865x + 112.97$	$R^2 = 0.1529$
平面主網面積與網	$y = 0.0092x + 8.027$	$R^2 = 0.0212$

3.牽引絲的平均長與最大立體平面主網和立體主網相關性大於其他的相關性。再將立體主網面積及平面主網面積做相關性的比較(如下圖)，發現立體主網面積越大平面主網面積也就越大，如圖 21~23。

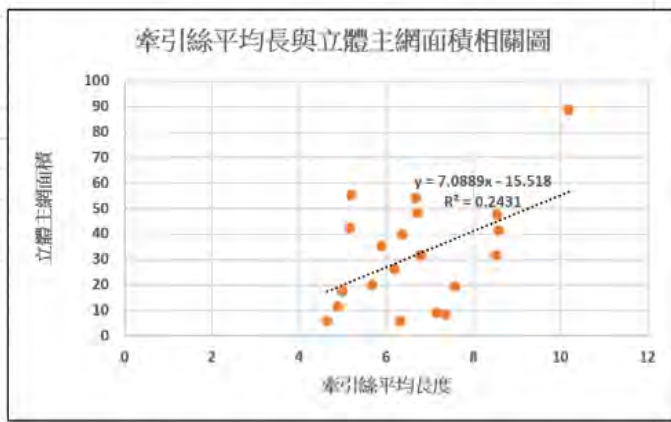


圖 21、牽引絲的平均長與立體主網面積相關圖

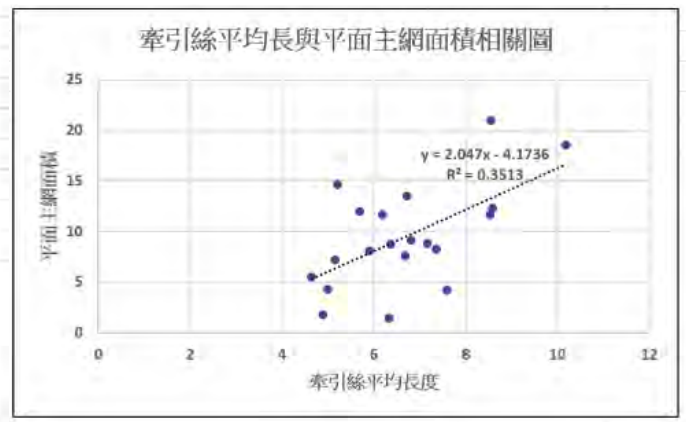


圖 22、牽引絲的平均長與平面主網面積相關圖

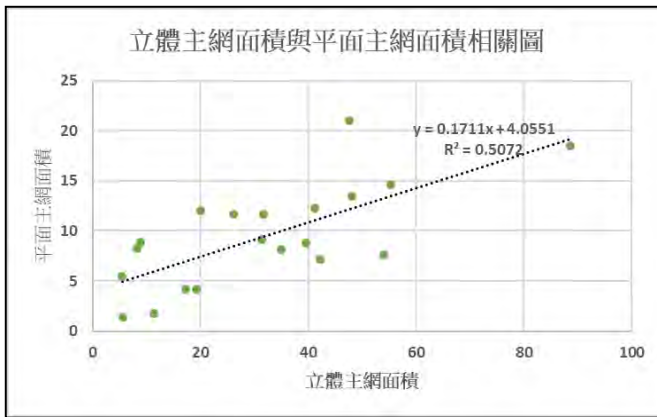


圖 23、立體主網面積與平面主網面積相關

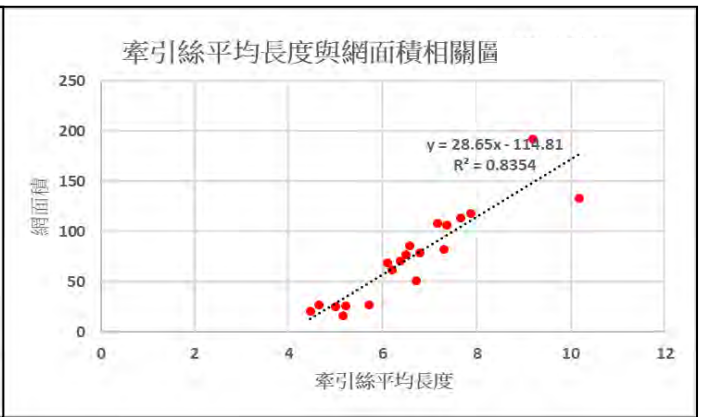


圖 24、牽引絲平均長度與網面積相關

4.我們發現不是每個網都有次級架構，而次級架構與主網密不可分，所以我們將網面積扣除次級架構及主網的面積後，找到牽引絲長度與網面積的相關性大，且得到的結果也與我們先前的推論符合，如圖 24~25。

5.此外，牽引絲數量依小至大排列，黃色標記為數量最多的牽引絲，依表 12 發現角度愈大，

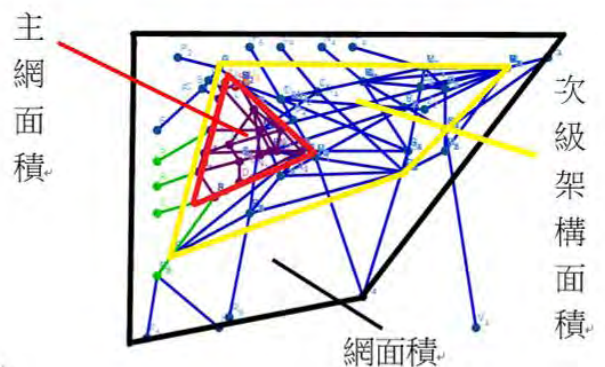


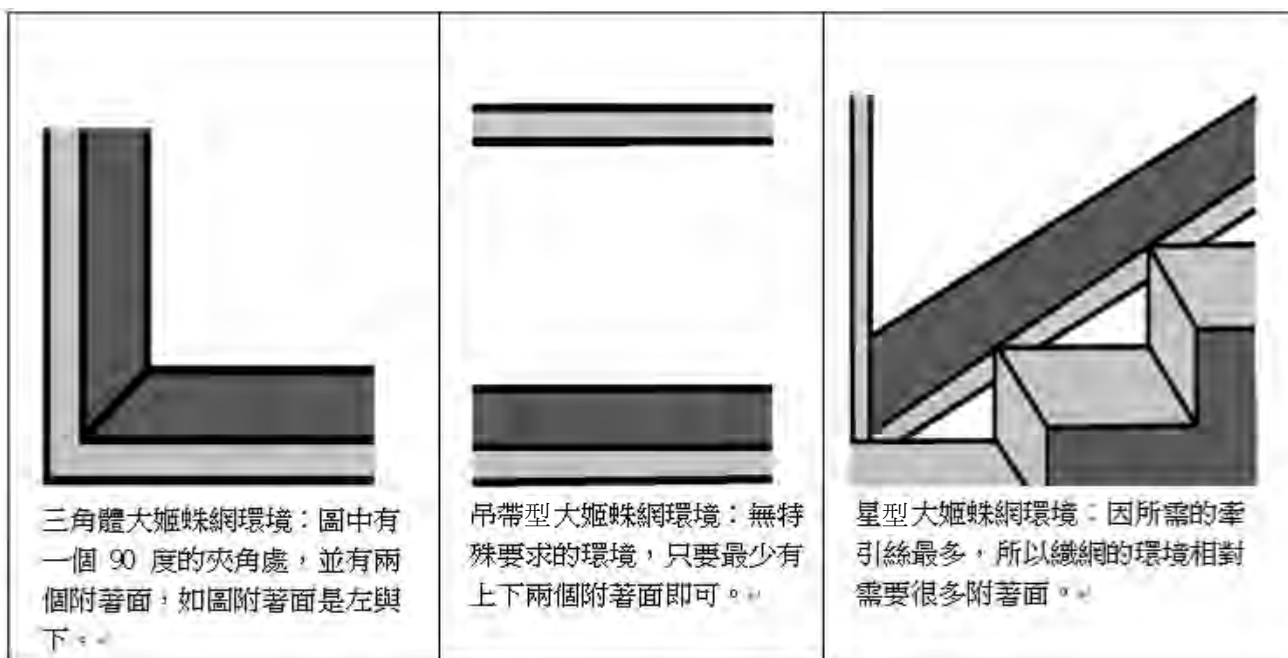
圖 25、大姬網的面積分布

牽引絲數量愈少，牽引絲數量較多的角度大都集中在小角及中間角，大角的牽引絲數量等於或小於小角及中間角的牽引絲數量。

表 12、最大平面主網中心劃分角度持有牽引絲數

編號	網型	角度	80	80	100	100	編號	網型	角度	116	120	126		
1	三角體	角度	80	80	100	100	11	星形	角度	116	120	126		
		牽引絲數	5	6	4	0			牽引絲數	7	4	4		
2	三角體	角度	110	116	134		12	吊帶形	角度	122	123	115		
		牽引絲數	7	1	5				牽引絲數	7	1	6		
3	星形	角度	114	122	124		13	三角體	角度	33	33	147	147	
		牽引絲數	7	1	6				牽引絲數	4	5	4	4	
4	吊帶形	角度	106	124	130		14	星形	角度	84	84	96	96	
		牽引絲數	6	1	3				牽引絲數	3	3	5	4	
5	吊帶形	角度	118	120	122		15	星形	角度	46	46	134	134	
		牽引絲數	6	1	4				牽引絲數	1	1	14	7	
6	三角體	角度	73	76	104	107	16	三角體	角度	74	74	106	106	
		牽引絲數	0	4	6	2			牽引絲數	0	3	15	9	
7	吊帶形	角度	112	115	133		17	星形	角度	74	74	106	106	
		牽引絲數	2	3	2				牽引絲數	1	3	5	4	
8	三角體	角度	105	105	150		18	三角體	角度	88	88	92	92	
		牽引絲數	3	6	0				牽引絲數	2	10	4	1	
9	星形	角度	114	122	124		19	星形	角度	45	70	70	85	90
		牽引絲數	2	3	3				牽引絲數	1	3	8	7	4
10	吊帶形	角度	86	89	91	94	20	吊帶形	角度	110	124	126		
		牽引絲數	2	0	4	4			牽引絲數	8	1	0		

(六)大姬蛛野生環境與人工環境的差別：為研究大姬蛛野生與人工環境結網是否有差異，我們依形狀與織網環境的特性，製作了三個適合織出三種形狀的飼養箱。

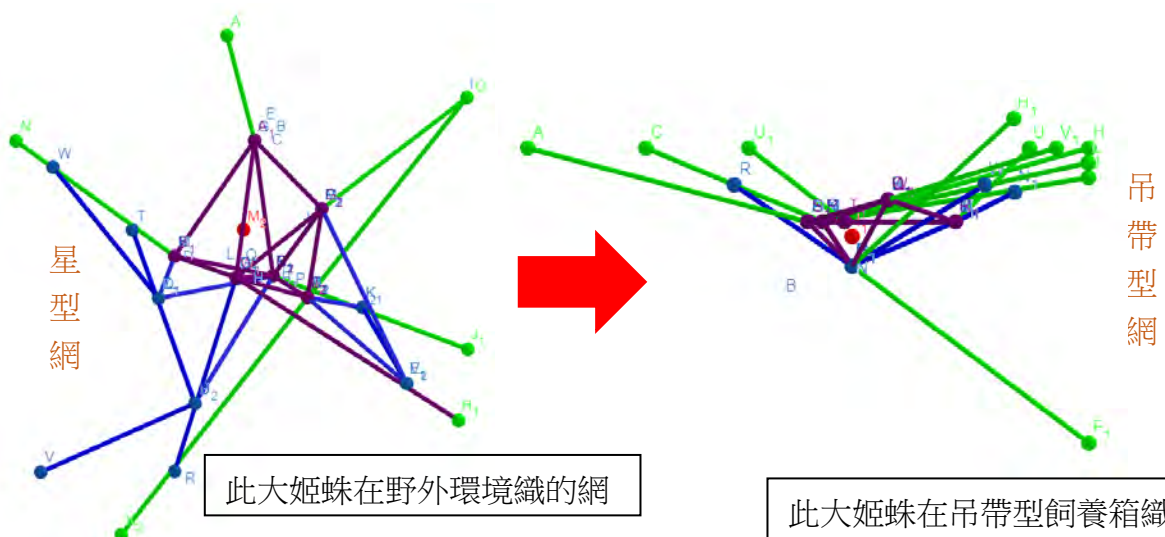
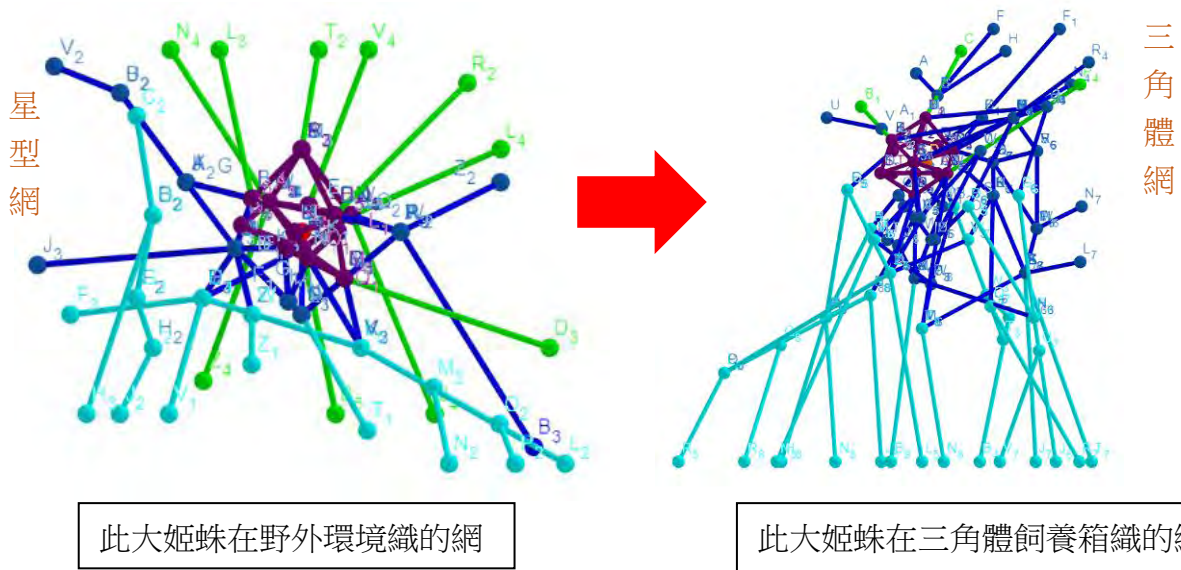


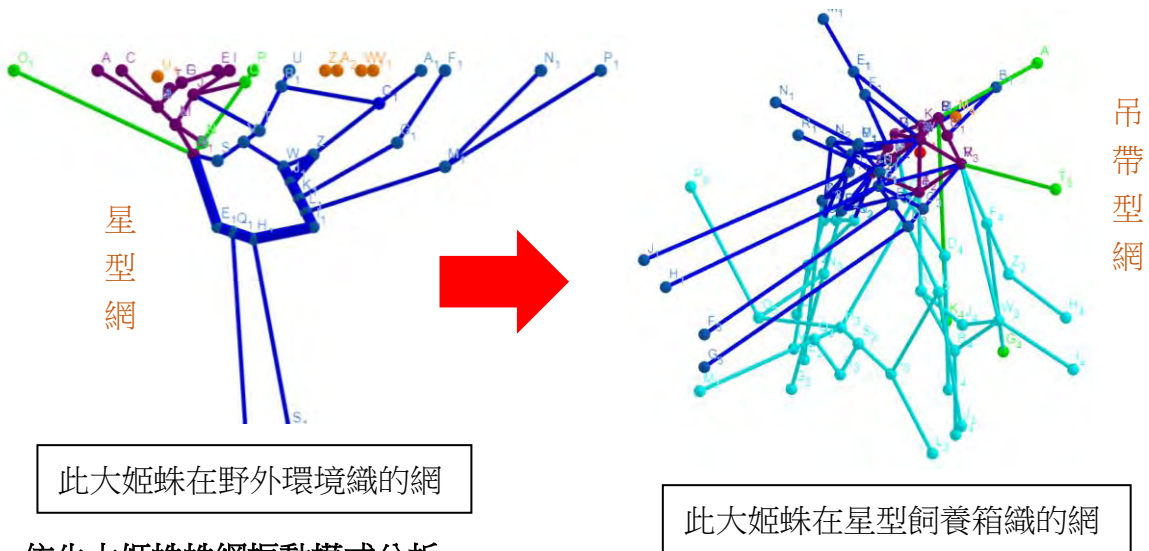
1.三角體飼養箱：為了讓大姬蛛只能織出三角體，而降低織出其他形狀的機會，我們利用大姬蛛無法在透明板上附著蜘蛛絲的特性，在箱內插入一片透明板，形成一個三角的環境，讓大姬蛛沒有上下兩個附著面來降低織出吊帶型，也沒有太多的附著面可以織出星型。

2.吊帶型飼養箱：未避免大姬蛛織出星型網，我們利用大姬蛛若要織出星型網的特性，就必須有大空間的特性，因此在飼養箱中放入許多樹枝，再用兩支較大的樹枝，交叉擺放，擋住箱內的夾角。

3.星型飼養箱：我們先插入四片瓦楞板，擋住飼養箱內四個夾角，讓大姬蛛沒有小於 90 度夾角可以織出三角體網，再加入上方一片瓦楞板，增加多個附著面，讓大姬蛛可以織出星型網，但無法減少吊帶型網出現的機率。

我們將研究中野生環境原本大姬蛛所織的網記錄下來，皆為星型網，放置到我們所設計的飼養箱，其結網的外型結構產生改變，放置在三角體環境中，大姬蛛結出三角體網；放置在吊帶型環境，大姬蛛結出吊帶型網；放置在星型環境，大姬蛛結出星型網。顯示大姬蛛在不同環境下會依照環境的外型，而改變蜘蛛網外型。





四、仿生大姬蛛蛛網振動模式分析

(一) 仿生大姬蛛吊帶型震動模式

實驗過程中，總共記錄了 20 秒大姬蛛仿生網受風力震動的情形，取其中 1 秒、7 秒、13 秒以及 19 秒，觀察主網及牽引絲及連接點的震動幅度，如圖 26。

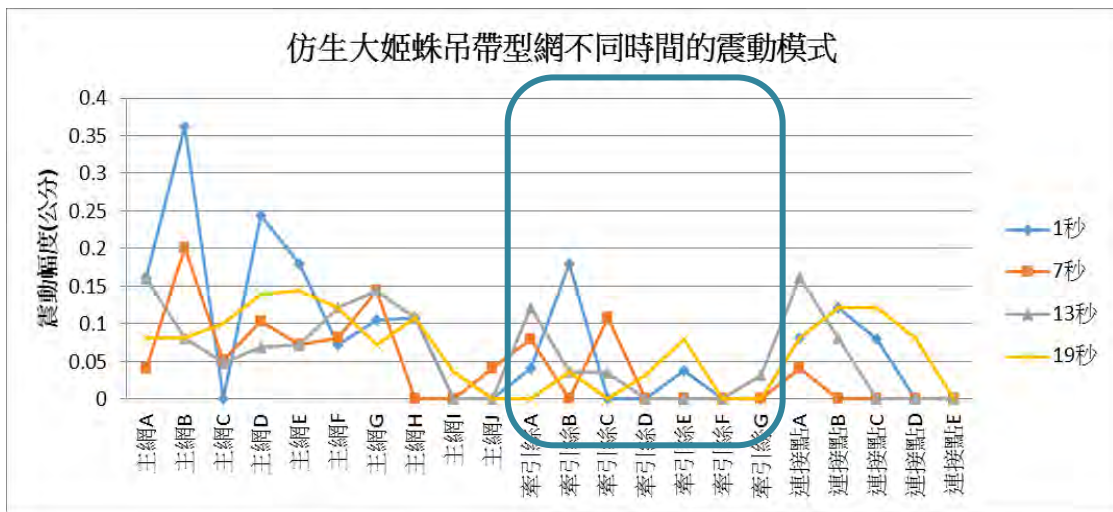


圖 26、仿生大姬蛛吊帶型網不同時間的震動模式

1. 1 秒、7 秒、13 秒以及 19 秒進行比較，在 20 秒的時間內，大姬蛛吊帶型蛛網不會因為時間增加其振動幅度增加或減少。

2. 計算各質點的平均振動幅度，如圖 27~28。結果發現，主網平均振動幅度為 0.065 公分，連接點為 0.05 公分，牽引絲為 0.05 公分；其主網的振動幅度 > 連接點 = 牽引絲。顯示在同樣的風力作用下，主網最為容易晃動，而周圍的牽引絲較為穩固，不容易晃動。

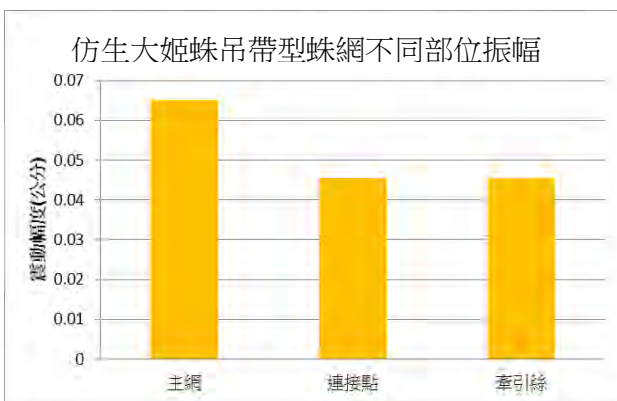


圖 27、仿生大姬蛛吊帶型網不同部位振幅



28、仿生大姬蛛吊帶型網各質點平均振動幅度

3.以 0.01 的振動幅度作為區分，從 0.01~0.11 公分，其各質點的平均振動幅度分類，如圖 29 所示。0.06 公分的振動幅度為最多，而超過 0.07 公分震動的質點數量極少。進一步分析主網絲長與振動幅度相關性，如圖 30，結果顯示相關性不大。分析牽引絲長度與振動幅度相關性，如圖 31，結果顯示其相關性不大。仿生絲長度與振動幅度的關係不顯著。

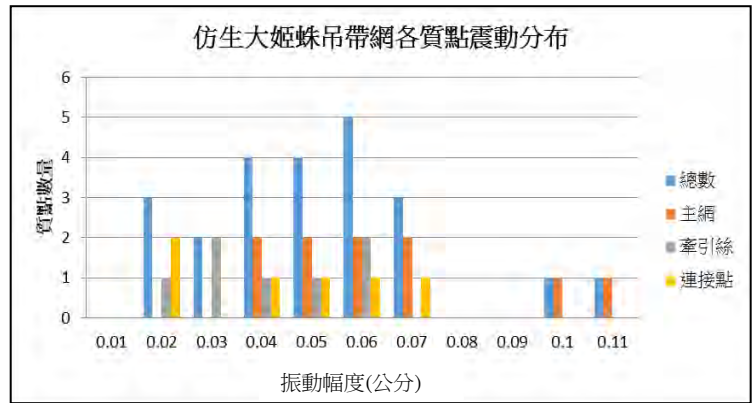


圖 29、仿生大姬蛛吊帶網各質點震動分布

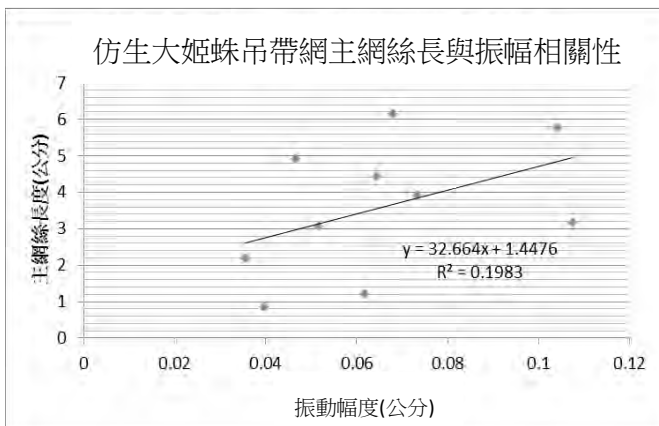


圖 30、仿生大姬蛛吊帶網主網絲長與振幅相關性

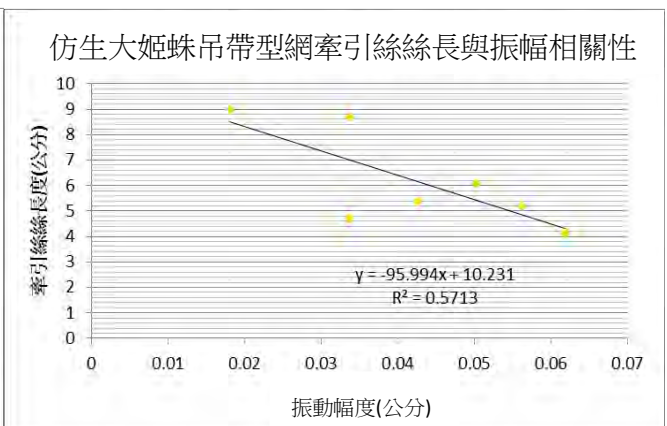


圖 31、仿生大姬蛛吊帶網牽引絲絲長與振幅相關性

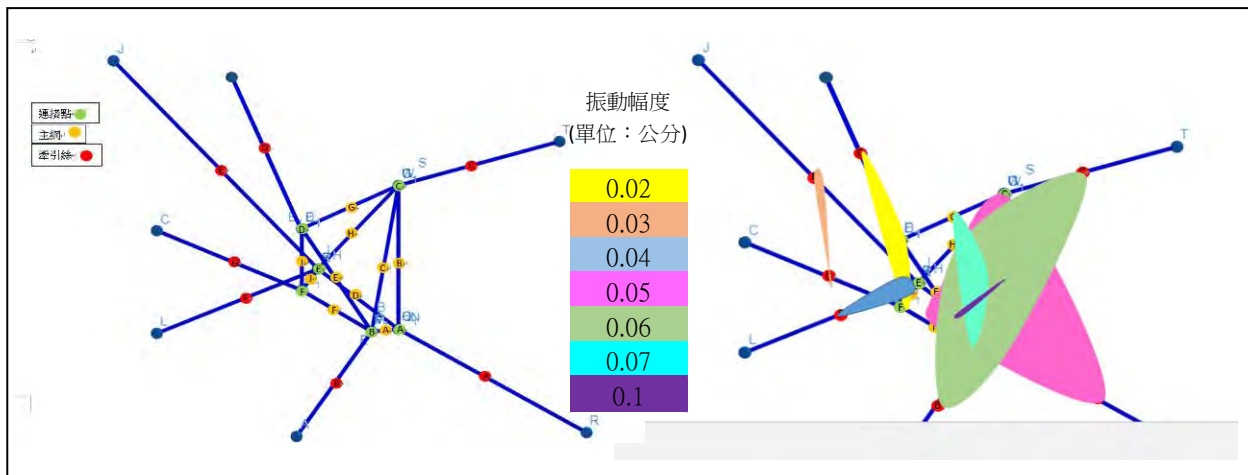


圖 32、仿生大姬蛛吊帶網振動幅度範圍

4.將研究數據中振動幅度相同的質點連接，如圖 32，可以區分成不同振動幅度區塊，依照振動幅度關係圖顯示，在風力作用下其振動幅度範圍：0.06 > 0.05 > 0.02 > 0.07 > 0.04 > 0.03 > 0.1 公分。顯示吊帶型蛛網其振動幅度以 0.06 公分為主。

5.在 20 秒的動態震動中，選擇了主網 D、牽引絲 B 以及連接點 B，觀察其一連串的模式，如圖 33。不論是主網或是牽引絲或是連接點，其受到持續風力作用下，皆呈現波的形式，振動的幅度雖有差異，但呈現規律的震動模式。

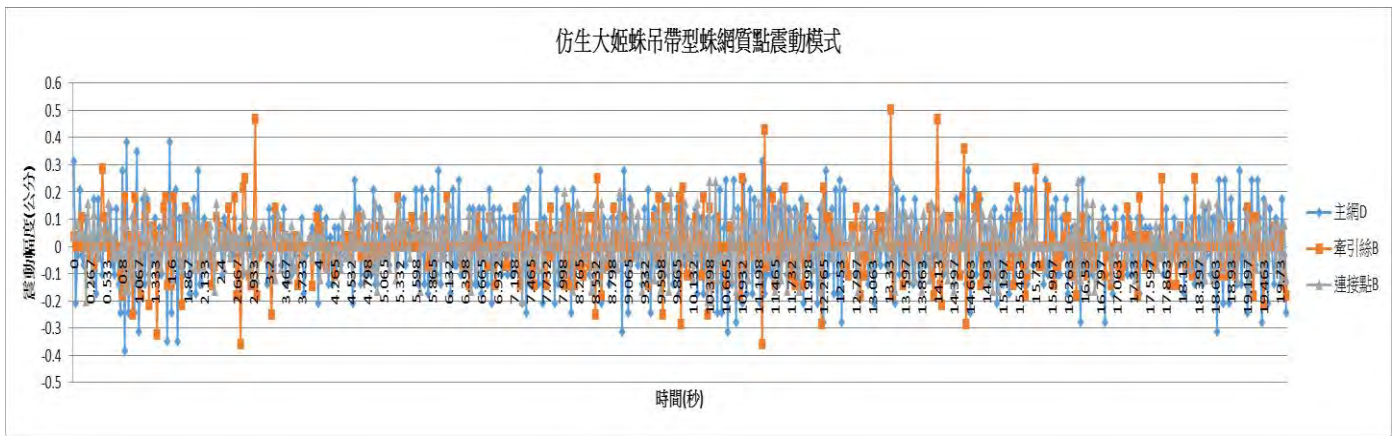


圖 33、仿生大姬蛛吊帶型蛛網動態震動模式

6.實驗中我們使用三種不一樣的風速，在不同強度的風力作用下，觀察了蜘蛛網的振動幅度，如圖 34。研究中的風速為 1.7-2.8m/s，仿生的吊帶型蜘蛛網在這三種風速下振動幅度差異不大。

(二)仿生大姬蛛網三角體震動模式

1.在三角體實驗過程中，總共記錄了 20 秒，大姬蛛仿生網受風力震動的情形，觀察主網及牽引絲及連接點的振動幅度，如圖 35。1. 1 秒、7 秒、13 秒以及 19 秒進行比較，在 20 秒的時間內，大姬蛛三角體蜘蛛網不會因為時間增加其振動幅度增加或減少。

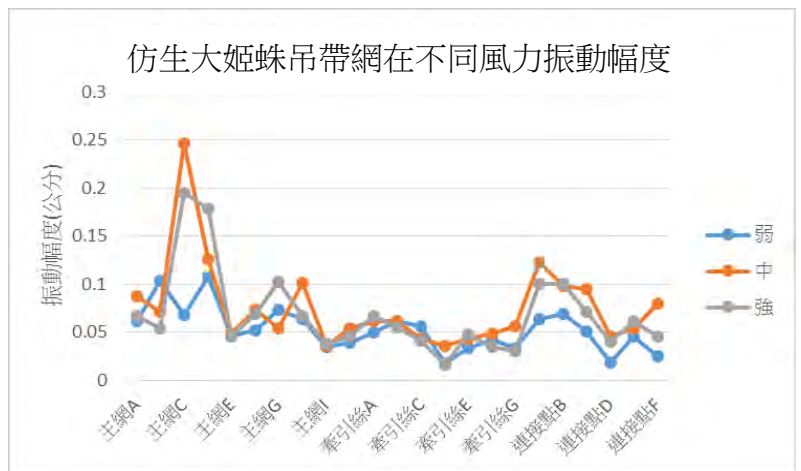


圖 34、仿生大姬蛛吊帶網在不同風力振動幅度

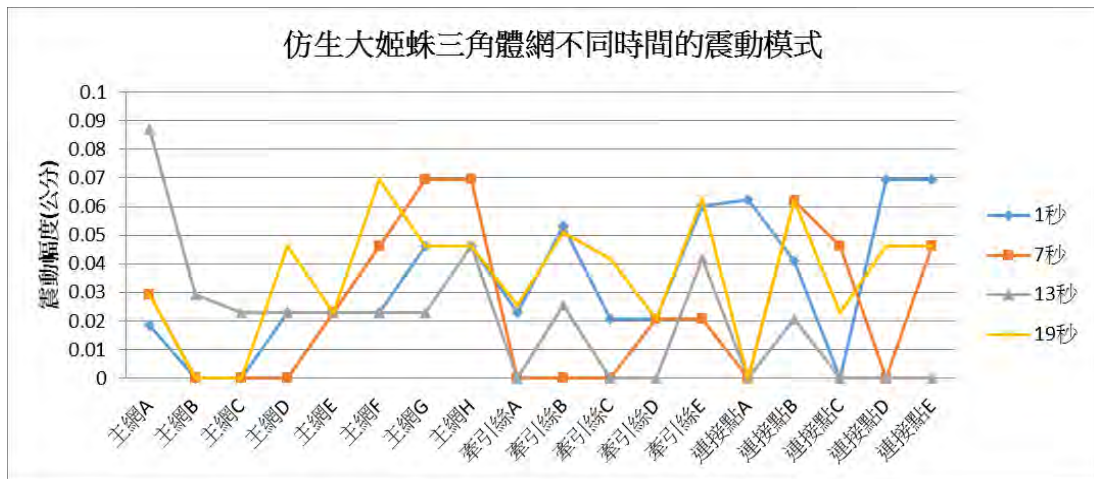


圖 35、仿生大姬蛛三角體網不同時間的震動模式

2.計算各質點的平均振動幅度，如圖 36~37。結果發現，主網平均振動幅度為 0.025 公分，連接點為 0.02 公分，牽引絲為 0.026 公分；其主網的振動幅度= 牽引絲 > 連接點。顯示在同樣的風力作用下，以主網最為容易晃動，而周圍的牽引絲較為穩固，不容易晃動。



圖 36、仿生大姬蛛三角體蛛網不同部位振幅



圖 37、仿生大姬蛛三角體蛛網各質點平均振動幅度

3.以 0.01 的振動幅度作為區分，從 0.01~0.11 公分，其各質點的平均振動幅度分類，如圖 38 所示。0.02 公分的振動幅度為最多。進一步分析主網絲長與振動幅度相關性，如圖 39，結果顯示相關性不大。分析牽引絲長度與振動幅度相關性，如圖 40，結果顯示其相關性不大。仿生絲長度與振動幅度的關係不顯著。

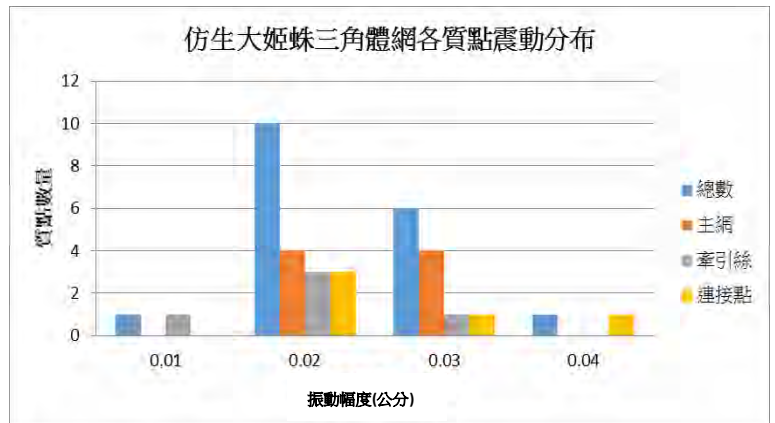


圖 38、仿生大姬蛛三角體蛛網各質點震動分布

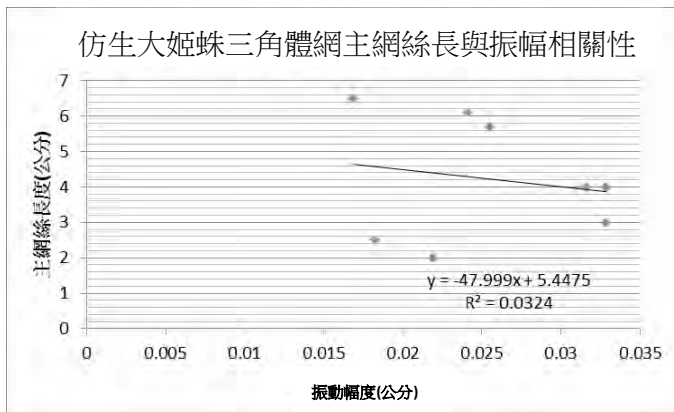


圖 39、仿生大姬蛛三角體蛛網主網絲長與振幅相關性

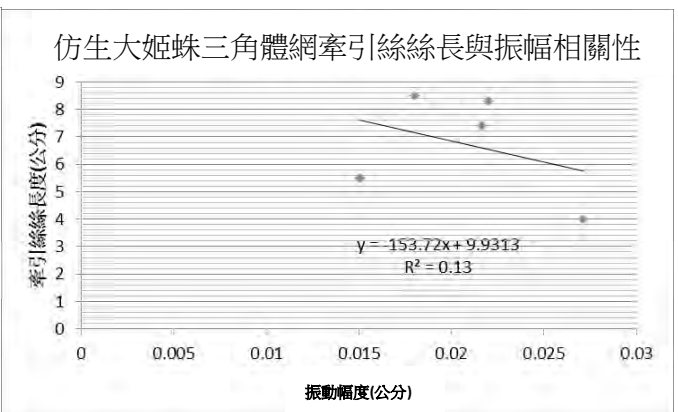


圖 40、仿生大姬蛛三角體蛛網牽引絲絲長與振幅相關性

4.將研究數據中振動幅度相同的質點連接，如圖 41，可以區分成不同振動幅度區塊，依照振動幅度關係圖顯示，在風力作用下其振動幅度範圍：0.02 > 0.03 公分。顯示三角體蛛網其振動幅度以 0.02 公分為主。

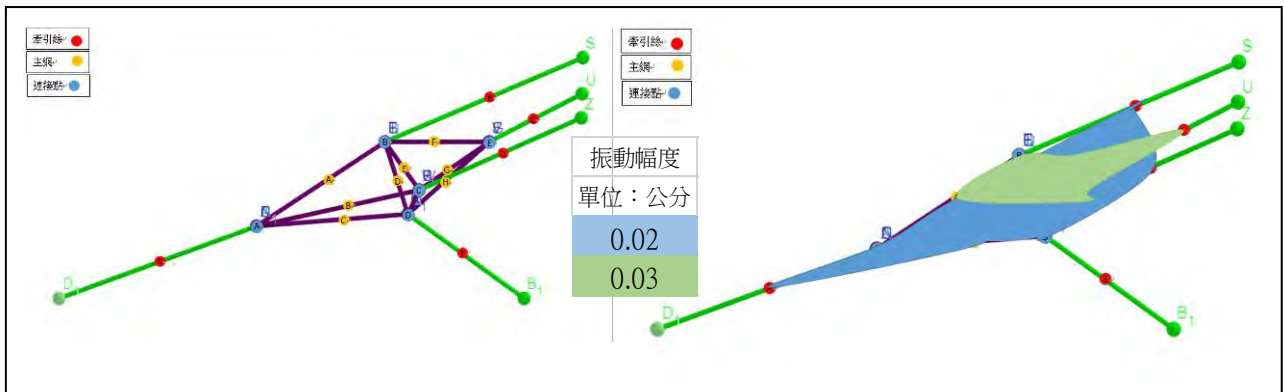


圖 41、仿生大姬蛛立體網振動幅度範圍

5.在 20 秒的動態震動中，選擇了主網 F、牽引絲 C 以及連接點 E，觀察其一連串的模式，如圖 42。不論是主網或是牽引絲或是連接點，其受到持續風力作用下，皆呈現波的形式，振動的幅度雖有差異，但呈現規律的震動模式。

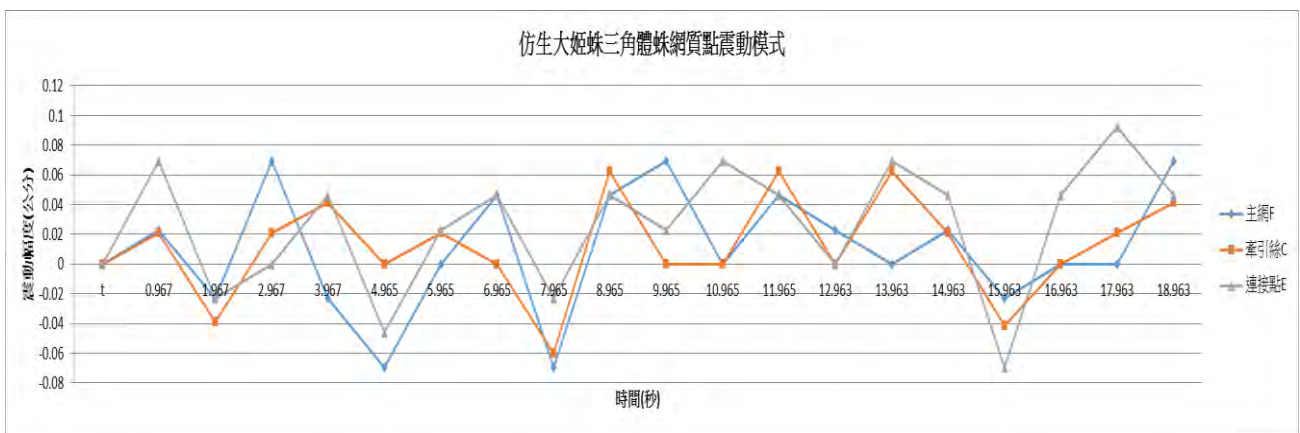


圖 42、仿生大姬蛛吊帶型蛛網動態震動模式

(三) 仿生大姬蛛吊帶型及三角體網比較

研究中仿生的大姬蛛網吊帶型振動幅度大於三角體震動幅度如圖 43，顯示三角體網較為穩固。

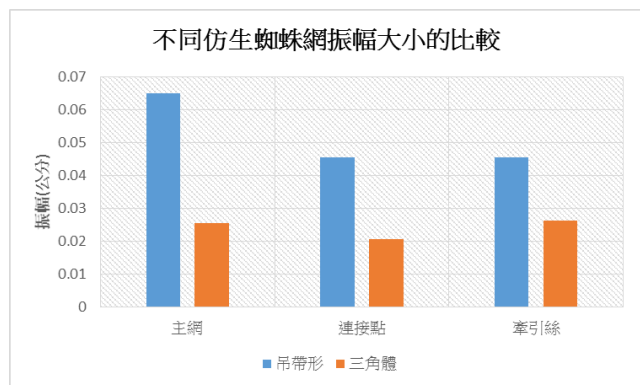


圖 43、不同仿生蜘蛛網振幅大小的比較

陸、討論

一、校園蜘蛛分布研究

花圃的蜘蛛種類以肩斑銀腹蛛及簷下姬鬼蛛為主，肩斑銀腹蛛多分布於植物上，簷下姬鬼蛛多分布在欄杆上，中午或下午的照度與蜘蛛的數量，相關性不大，不過，肩斑銀腹蛛白天觀察到的數量較多，而簷下姬鬼蛛在下午的數量比較多。

活動中心的蜘蛛分布種類為大姬蛛，與其他地區最大的差別在於此處是一個陰暗的環境，而在此處織網的大姬蛛皆為育幼的雌性蜘蛛，一隻母蛛通常會保護一顆以上的卵囊，並且在護卵期間待在卵的旁邊不移動，其食用過的昆蟲屍體，皆會掉落在主網的下方。卵囊的小蜘蛛孵化後，會散布在原本卵囊的周圍，或遷移到母蛛的主網上。

校園中最常見的蜘蛛為肩斑銀腹蛛、簷下姬鬼蛛以及大姬蛛，這三種蜘蛛的棲息環境不同，肩斑銀腹蛛偏好在植物上結網，簷下姬鬼蛛偏好在欄杆上，大姬蛛偏好在較陰暗的人造環境結網及育幼。

學校活動中心所觀察到的大姬蛛與卵囊的關係顯示，大姬蛛產卵囊數量平均為一顆，且母蛛離卵囊的距離最近，其保護的效果也最佳。

二、大姬蛛網的拓撲研究

大姬蛛網的架構主要分為牽引絲、主網結構、次級結構及支架。牽引絲位於蜘蛛網的外圍，與附著面直接連接，是蜘蛛網最主要的支撐結構，牽引絲的附著方位決定大姬蛛網的類型，其中我們用來計算附著角度用的牽引絲，是直接連接到主網的牽引絲，而其他未直接連接到主網的牽引絲，會因為其他的影響，導致其變得扭曲，所以不列入計算。主網的形狀可分為 12 種立體拓撲形狀，是大姬蛛與卵囊主要的所在位置，為了想知道牽引絲平均長度、數量和主網的相關性，我們將主網其中最大的平面網，設為最大立體平面主網，以方便觀察。次級架構包覆整個主網，增加主網的穩定性，並結合主網成為更大的主要捕捉獵物區。支架是大姬蛛在整個蜘蛛網織成後，為加強蜘蛛網而織出的結構，可捕捉地面上的獵物，但並非有必要存在性，所以不是每個大姬蛛網都有支架，不過因為星型網需要支撐較大的主網，比較需要支架。

從大姬蛛網的結構整體來看，外型可分成三種類型，包括吊帶型、星型以及三角體，大姬蛛會依照不同的環境，織出相對應的網形，如圖 44。在有一個等於或小於 90 度的大夾角處，並且沒有其他夾角時，當大姬蛛滿足牽引絲的附著方位在左與上、左與下、右與上、右與下其中之一的條件時，大姬蛛會織出三角體網。在附著面多的地方，當大姬蛛可以同時滿足牽引絲附著方位在上、下、左、右時，大姬蛛容易織出星型網，但在附著面不多的地方時，大姬蛛若想織出星形網，一樣必須滿足牽引絲的 4 個附著方位，所以大姬蛛必須加長牽引絲，來產生 4 個附著方位，如此一來，大姬蛛的星型網就會變得較大。在任何環境下大姬蛛都可以織出吊帶型網，只要滿足任何兩個牽引絲的附著方位，但是吊帶型網沒有次級架構，所以整體結構較不完整，也較為脆弱，可能是因為環境太過嚴苛，或是蜘蛛本身的絲量不足，大姬蛛才會織出吊帶型網。

大姬蛛網的牽引絲若越長，則網面積應該越大，但是我們找不到牽引絲與網面積的相關性，因為不是每個網都有次級架構，且次級架構與主網密不可分。所以我們將網面積扣除次級架構及主網的面積後，找到牽引絲與網面積的相關性，也就是大姬蛛網的牽引絲越長，網面積越大，最大立體平面主網是立體主網的一面，所以立體主網面積越大，平面主網面積也越大。為了找出牽引絲數量與主網的相關性，我們先找出最大立體平面主網，依平面網的角平分線或對角線來劃分區域，劃分的角越大，區域內的牽引絲越少。使用 GGB 製圖時，我們認為短牽引絲的附著角度應該大於長牽引絲的附著角度，所以試算其平均與線性相關圖，卻發現沒有規律性，然後我們重新定義牽引絲的附著方位，找出規律性，並發現短牽絲的附著角度平均值大於長牽引絲的附著角度平均值，持有支架的大姬蛛網，牽引絲數量與離地高度平均值都大於沒有支架的大姬蛛網。

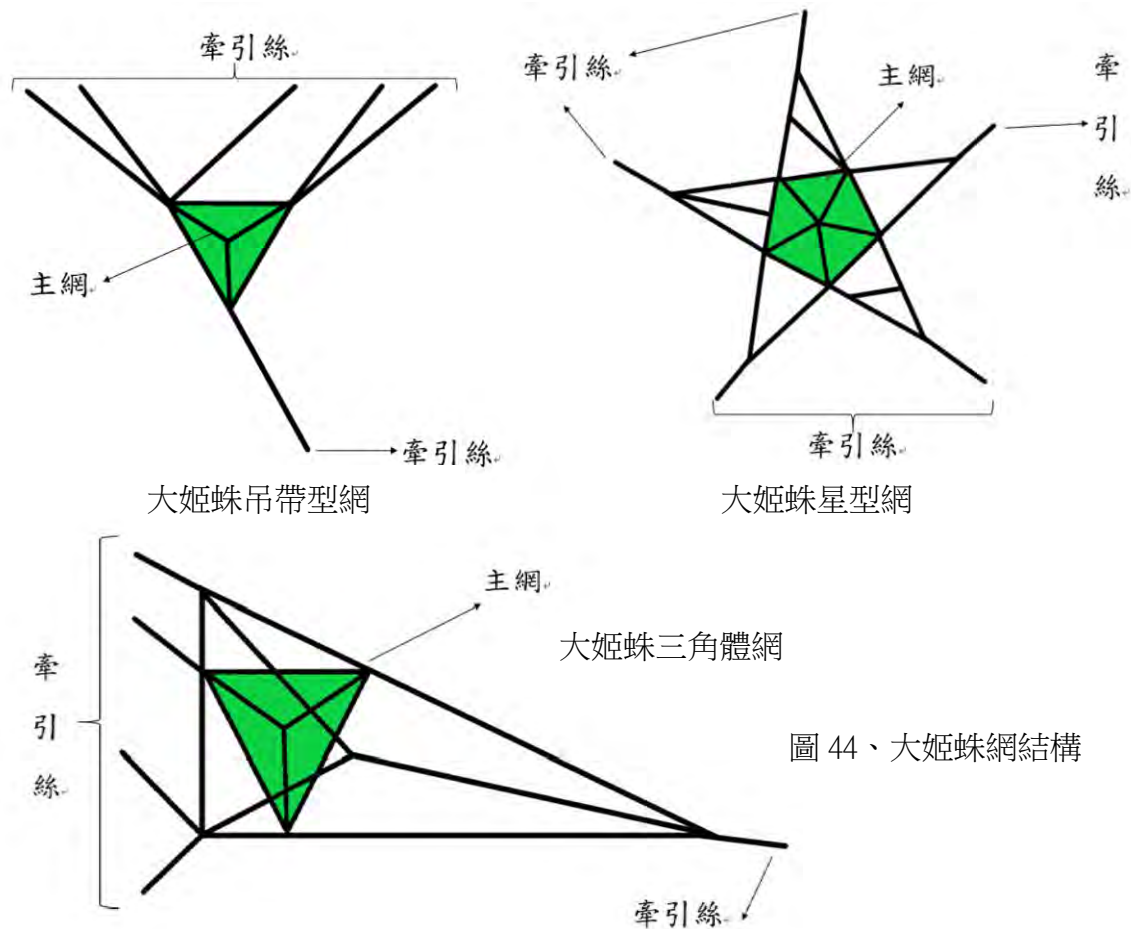


圖 44、大姬蛛網結構

牽引絲是蜘蛛網最主要的支撐架構，數量愈多越穩定，星型網所要求的牽引絲方位為最多，所以牽引絲的數量也最多，吊帶型網所要求的牽引絲方位不固定，所以牽引絲數量最少。依右表所示，穩定性為：星型>三角體>吊帶型。星型網與三角體網的牽引絲平均較長，估算網面積也比較大，且兩者所需的牽引絲方位較為嚴苛，所以需要支架來填補所需的牽引絲方位，並支撐較大的主網。星型網所持有的支架最多，所以離地的高度也越高，星型網的牽引絲方位為最多，所以能織出立體主網的種類也較多，主網的網面數量也較多。

三、仿生大姬蛛蛛網震動模式分析

兩種蛛網在 20 秒內的震動狀態，即使隨著時間增加，其振動幅度差異不大。吊帶型的振動幅度為 0.06 公分，三角體的振動幅度為 0.02 公分，顯示三角體面對風力的作用下，其結構較為穩固，不易受到外力撞擊而過於

結構	三角體	星型	吊帶型	
牽引絲數量	15.85714	16.14286	10.16667	
牽引絲平均長度	6.264286	7.386	6.104667	
連結附着物與主網的牽引絲數量	6.285714	7.142857	7.5	
支架的有無	1	3	1	
支架的面積	86.53	107.9267	178.6	
支架的絲數	15	8.666667	9	
牽引絲附着角度	大	128.1254	112.9557	131.54
	小	51.81014	67.04286	48.45667
	左	82.74686	91.38	84.58833
	右	97.23729	88.62	87.74167
網面積	110.9114	157.9241	85.63517	
立體主網面積	30.79814	36.21857	27.92067	
最大立體平面主網面積	9.93	7.973571	10.78667	
平面主網與次級架構面積	44.68357	50.76914	31.225	
領域性範圍	37.53343	43.29714	35.85	
主網離地高度	8.827143	9.975714	9.790833	
主網面數量	6.142857	7.571429	3.833333	
中心點劃分三角形數量	3.857143	3.714286	3.166667	

表 13、大姬蛛三種網形的數值
(黃色區塊為最大值)

晃動。而吊帶型其主網的振動幅度 $>$ 牽引絲= 連接點，三角體其主網的振動幅度= 牽引絲 $>$ 連接點。不論是吊帶型及三角體，其主網的振動幅度都是最大的，而連接點及牽引絲為蜘蛛網的周圍架構，以穩固主網，其晃動幅度小，符合在野生環境中觀察的現象。

在野生的環境中，我們觀察到的大姬蛛蛛網會因為環境不同，而有不一樣的結網形式，觀察有吊帶型、三角體及星型。其中吊帶型的主體周圍的結構較少，因此晃動的幅度較大，所能承受的能量推測也較少，主網的穩定性較低；對比於三角體其主網周圍的結構較多，即使受到相同的風力作用，其振動幅度較小，推測能承受的能量也較大。通常在野外大姬蛛結網若為吊帶型，受周圍環境影響，若環境許可，以其他蛛網形狀為主。

四、未來展望

研究大姬蛛與卵囊分布的相關性時，觀察到許多的若蛛孵化，圍繞著母蛛與卵囊，隨著時間過去，若蛛會慢慢離開，我們想觀察若蛛從孵化到離去的分布情形，並用 GGB 程式作圖，以了解若蛛分布位置，並且觀察與母蛛、卵囊的相對關係。目前研究的大姬蛛網，都是在人工建築環境中，未來想延續探討，在本研究所觀察到大姬蛛因環境而織網的特性，是否在自然環境下的大姬蛛網，也遵循相同規律或是有其他織網規則。此外，大姬蛛依照不同環境所織的網，可應用在房屋建築與防護網的架構上，若未來有機會將模擬並實驗大姬蛛網的緩衝能力。在大姬蛛網的震動動態模式研究中，我們實驗的是仿生後大姬蛛網，之後想與真實的大姬蛛網做比對，並且計算真實蛛網牽引絲張力，再與兩者做相關性的比較。

柒、結論

一、綜合研究一，我們的結論如下：

- (一) 肩斑銀腹蛛多出現在早上，分布於植物上，簷下姬鬼蛛多出現在下午，分布在欄杆上，中午或下午的照度與蜘蛛的數量，相關性不大。
- (二) 肩斑銀腹蛛的體長、網半徑、網傾斜程度以及離地高度，其相關性不大，但體長較大的蜘蛛網半徑較大；而離地高度較高，其蛛網的傾斜角度也較大。
- (三) 大姬蛛為育幼的雌性蜘蛛，一隻母蛛通常會保護一顆以上的卵囊，並在護卵期間待在卵的旁邊不移動，其食用過的昆蟲屍體，皆會掉落在主網的下方。若蛛孵化後，散佈在卵囊周圍或母蛛主網上。
- (四) 我們發現校園中最常見的蜘蛛為肩斑銀腹蛛、簷下姬鬼蛛以及大姬蛛，我們也觀察到大姬蛛的卵囊有母蛛保護，產在母蛛的主網內。

二、綜合研究二，我們的結論如下：

- (一) 不規則大姬蛛網的外型分為三角體、星型及吊帶型。內部的主網分成 12 種拓撲學形狀。
- (二) 大姬蛛依環境織出適合的網，我們做了三個適合三種網形的飼養箱，大姬蛛在皆在各個飼養箱中，織出相對應的網形。
- (三) 大姬蛛織網時的過程：牽引絲 \rightarrow 主網 \rightarrow 次級架構 \rightarrow 支架。
- (四) 大姬蛛網的牽引絲越長網面積越大，立體主網面積越大平面主網面積也越大，平面主網劃分角越大，區域內的牽引絲越少，短牽引絲的附著角度平均大於長牽引的絲附著角度平均，持有支架的蜘蛛網，牽引絲數量與離地高度平均大於無持有的。
- (五) 三種網形中，星型網的牽引絲平均長、牽引絲的數量、支架持有數、網面積、立體

主網面積、次級架構面積、離地高度與主網面的數量，皆大於三角體與星型網。

三、綜合研究三，我們的結論如下：

- (一)仿生大姬蛛吊帶型及三角體蛛網在 20 秒內的震動狀態，即使隨著時間增加，其振動幅度差異不大。
- (二)吊帶型的振動幅度為 0.06 公分，三角體的振動幅度為 0.02 公分，顯示三角體面對風力的作用下，其結構較為穩固，不易受到外力撞擊而過於晃動。
- (三)不論是吊帶型及三角體，其主網的振動幅度都是最大的，而連接點及牽引絲為蜘蛛網的周圍架構，以穩固主網，其晃動幅度小，符合在野生環境中觀察的現象。

捌、參考資料及其他

- 一、黃姿婷、洪哲為、蔡沛恩、廖均汶、王羿凱(2008)喜歡睡帳篷的蜘蛛-大姬蛛生態行為研究。中華民國第 48 屆中小學科學展覽會。
- 二、潘昱瑄、陳彥叡、江亞霖(2015) 夏綠蒂 2D 和 3D 的世界。中華民國第 55 屆中小學科學展覽會。
- 三、許捷宜(2018)圓網波瀾－圓網結構之震盪模態影像分析。2018 年台灣國際科展展覽會。
- 四、七面體。維基百科。網址：<https://zh.wikipedia.org/wiki/七面體>
- 五、拓撲學。維基百科。網址：<https://zh.wikipedia.org/wiki/拓撲學>

【評語】 030313

本研究進行大姬蛛不規則網之拓撲探究，屬於田野調查形式再加上基本實驗觀測，實驗可分成三個部分：1. 蜘蛛在校園周圍的分布與環境間的關係；2. 蜘蛛網的拓撲結構；3. 以仿生方式組成蜘蛛網，測試各種蜘蛛網受風力吹拂的震動幅度。這個研究包含深入的觀察，作者投入很多心力觀察與紀錄，深入且詳細的分析，研究的三個部分環環相扣，清楚有條理，其研究精神值得嘉獎。

建議：

1. 由於目前研究的大姬蛛網，都是在人為建築環境中觀察，建議將來可探索自然形成的蛛網結構與環境間的不同變化，與真實的大姬蛛網兼比對，才有機會找到大姬蛛因環境而織網的規律以及織網規則。
2. 大姬蛛的織網結構是否需考慮不同部分的"絲"本身的特性使否有一樣，織造材質的不同也可能造成差異。
3. 本作品適切地結合校園內的地方特色加以設計實驗，內容具鄉土教材性及實用價值，仿生大姬蛛網的研究結果，未來可應用在房屋建築與防護網的架構上。

作品海報

摘要

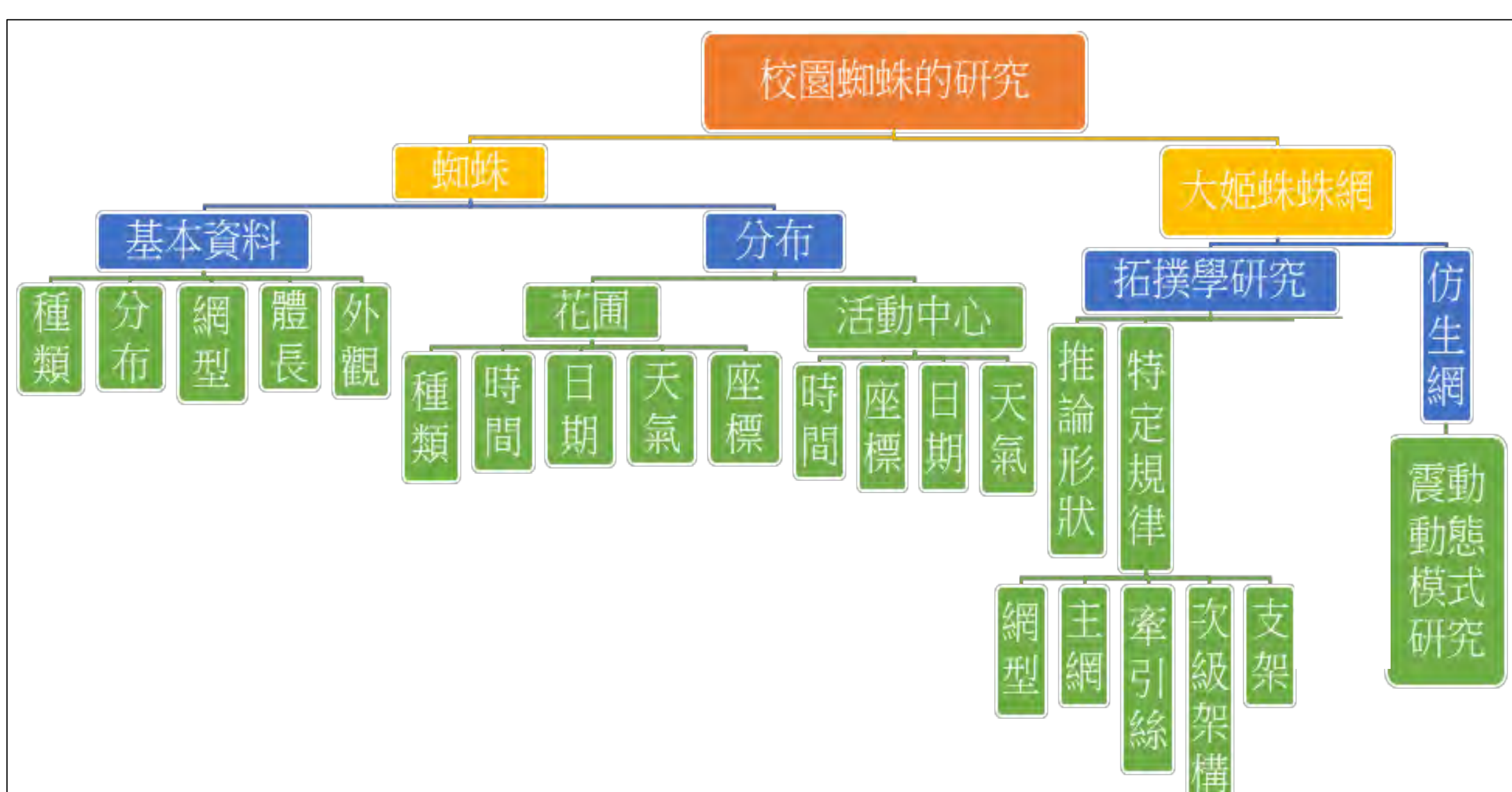
學校最常見的蜘蛛就是**肩斑銀腹蛛**、**簷下姬鬼蛛**及**大姬蛛**，肩斑銀腹蛛多棲息在植物上，簷下姬鬼蛛多棲息在欄杆上，而大姬蛛多棲息於陰暗處，有護卵行為。大姬蛛的網為不規則網，主要分為牽引絲、主網結構及次級結構。大姬蛛的網形分別為**三角體**、**吊帶型**及**星型**，主網形狀分為12種拓撲形狀，且大姬蛛網的牽引絲越長，網面積越大；立體主網面積越大，平面主網面積也越大；平面主網劃分角越大，區域內的牽引絲越少；短牽引絲的附著角度平均大於長牽引絲附著角度平均；具有支架的蜘蛛網，牽引絲數量與離地高度平均大於沒有支架的蛛網。仿生大姬蛛網吊帶型的振動幅度為0.06公分，三角體的振動幅度為0.02公分，顯示三角體面對風力的作用下，其結構較為穩固。不論是吊帶型及三角體仿生蛛網，其主網部分的振動幅度皆為最大，而連接點及牽引絲為蜘蛛網的周圍架構，其晃動幅度小。

壹、研究動機

蜘蛛是學校常見的動物，我們在花圃及後山都觀察到了許多蜘蛛，因此開始調查這兩個地方的蜘蛛種類及分布。有一次，意外發現活動中心有許多蜘蛛棲息在此，特別是活動中心只有大姬蛛，而牠們織的網是不規則網，我們感到非常的新奇，激起了想要更深入了解不規則網的興趣，並展開了一連串的研究。

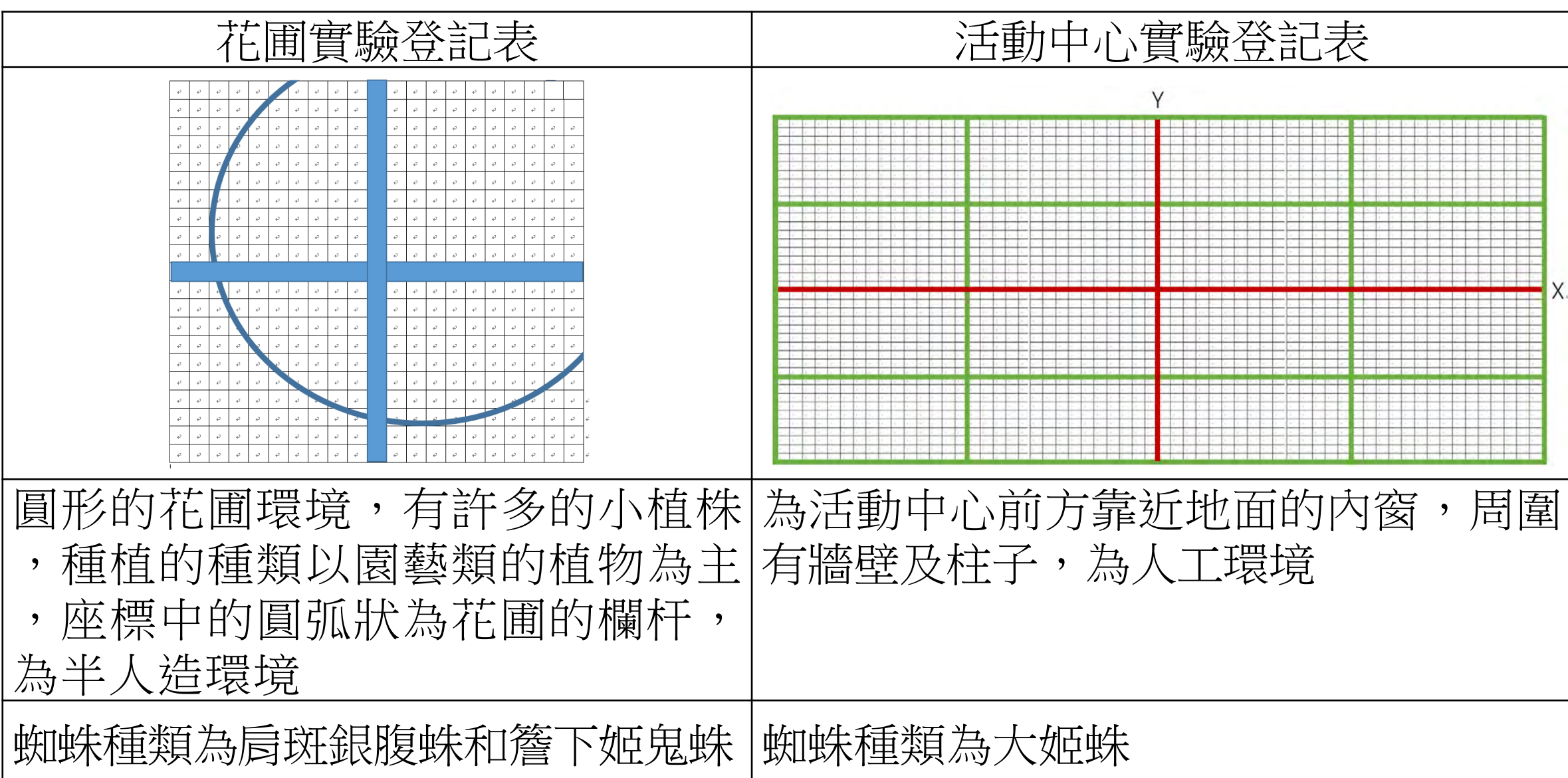
貳、研究目的

- 一、校園蜘蛛分布研究
- 二、大姬蛛網的拓撲研究
- 三、仿生大姬蛛網震動動態模式研究



(一)花圃的蜘蛛分布

校園中我們選擇了兩個最多蜘蛛分布的區域，由於每一個區域的植被狀況及環境不同，因此我們對於不同區域繪製了不同的登記座標方式。如下圖。

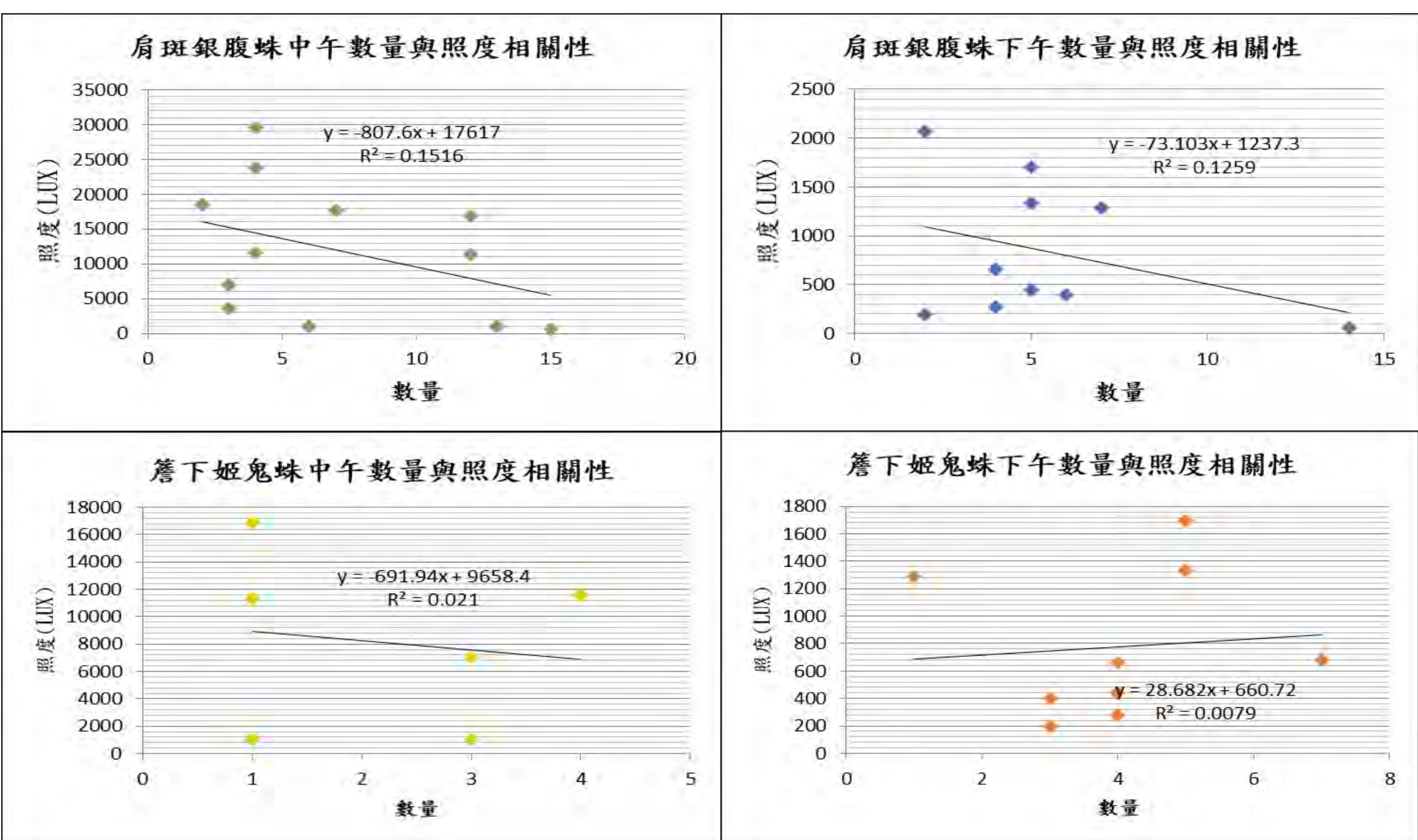


圓形的花圃環境，有許多的小植株，種植的種類以園藝類的植物為主，座標中的圓弧狀為花圃的欄杆，為半人造環境

為活動中心前方靠近地面的內窗，周圍有牆壁及柱子，為人工環境

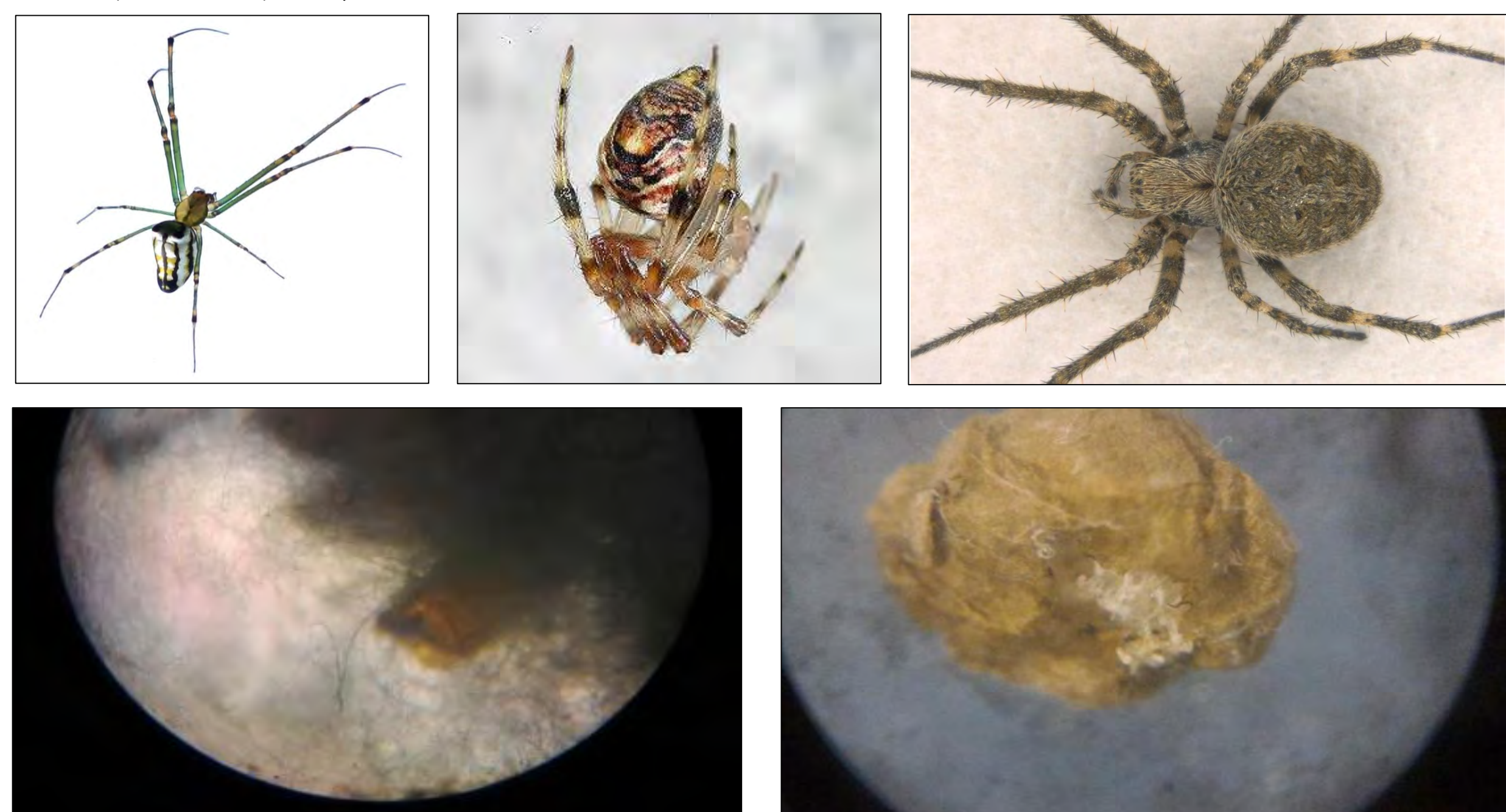
蜘蛛種類為肩斑銀腹蛛和簷下姬鬼蛛

蜘蛛種類為大姬蛛

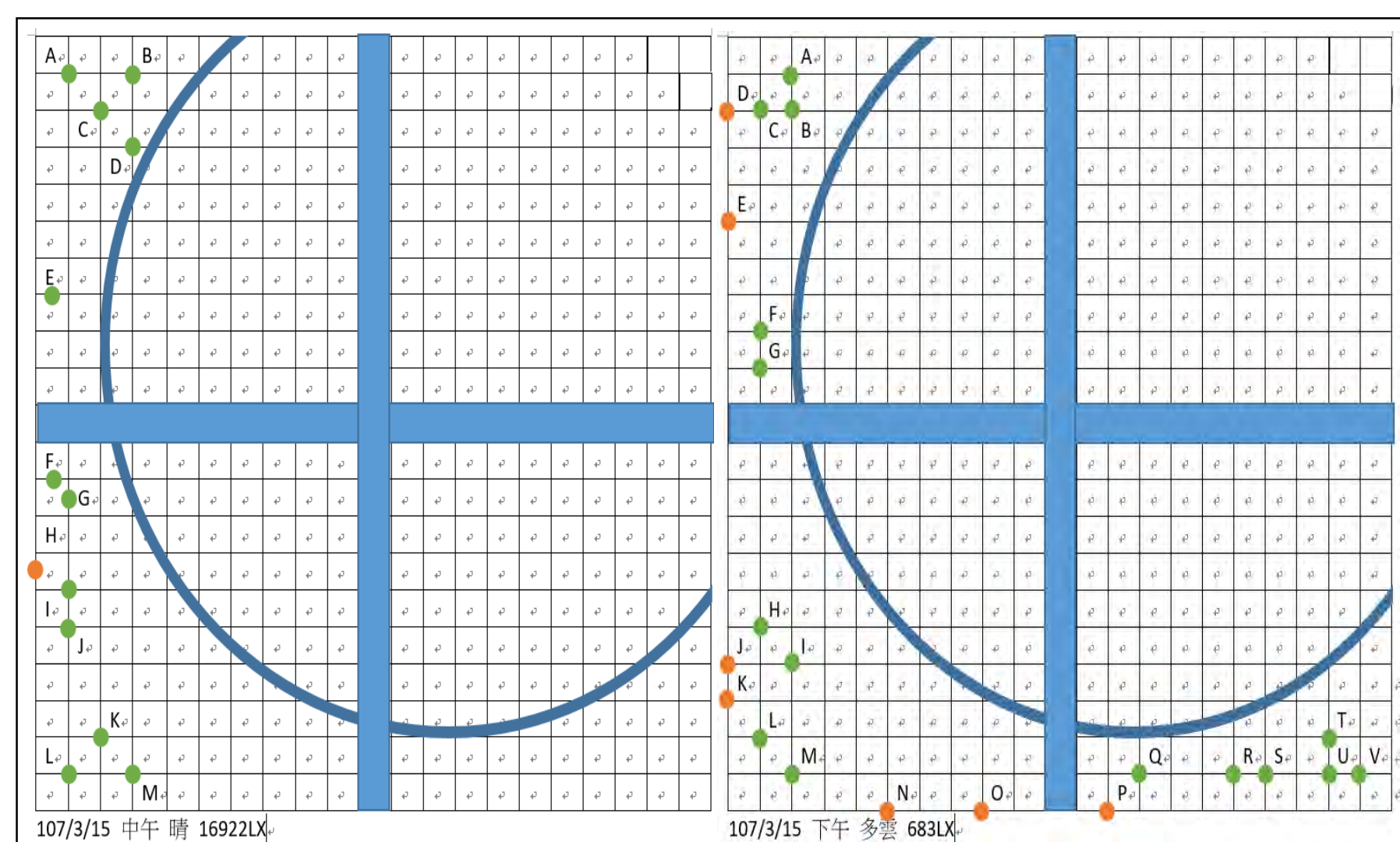


參、研究步驟與結果

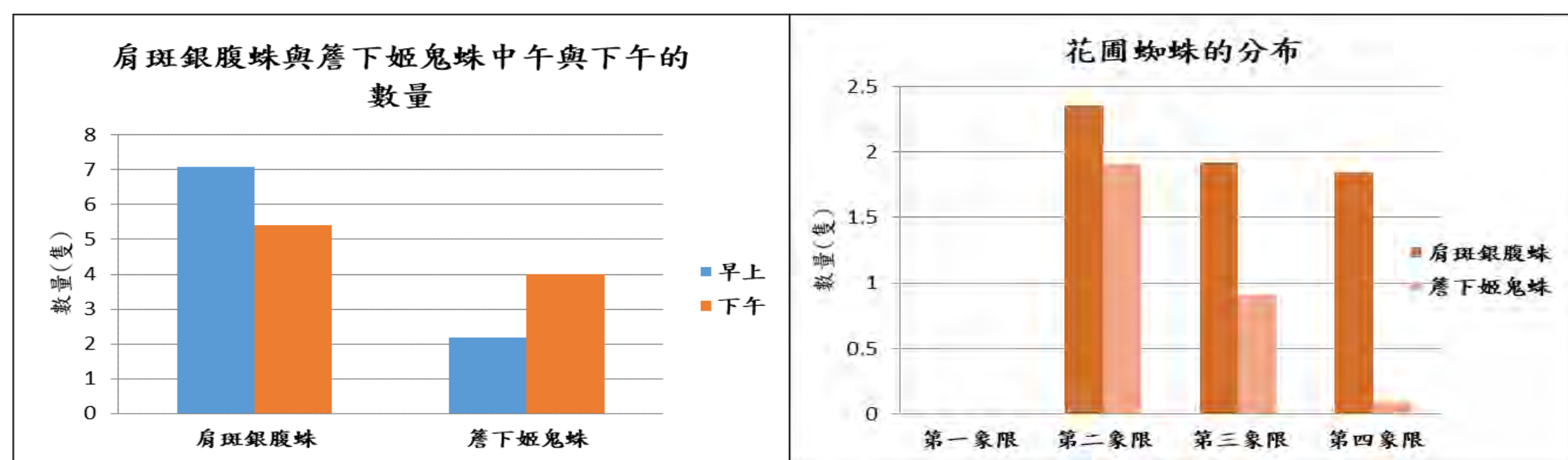
一、校園蜘蛛分布研究



花圃的蜘蛛種類以**肩斑銀腹蛛**和**簷下姬鬼蛛**為主，肩斑銀腹蛛的棲息地點以花圃中的植物為主，簷下姬鬼蛛的棲息環境以花圃周圍的欄杆為主。每天我們記錄了中午和下午的位置分布(其座標為水平座標)，如下圖所示(圖中綠色為肩斑銀腹蛛橘色為簷下姬鬼蛛)。



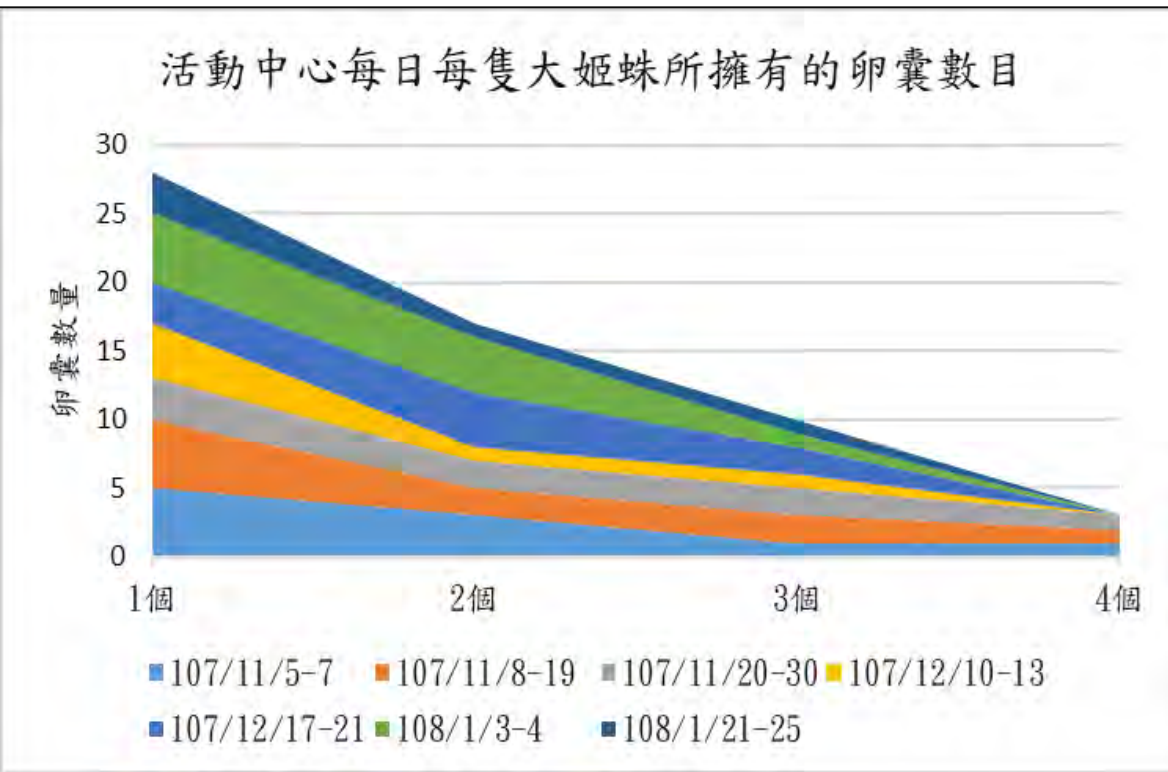
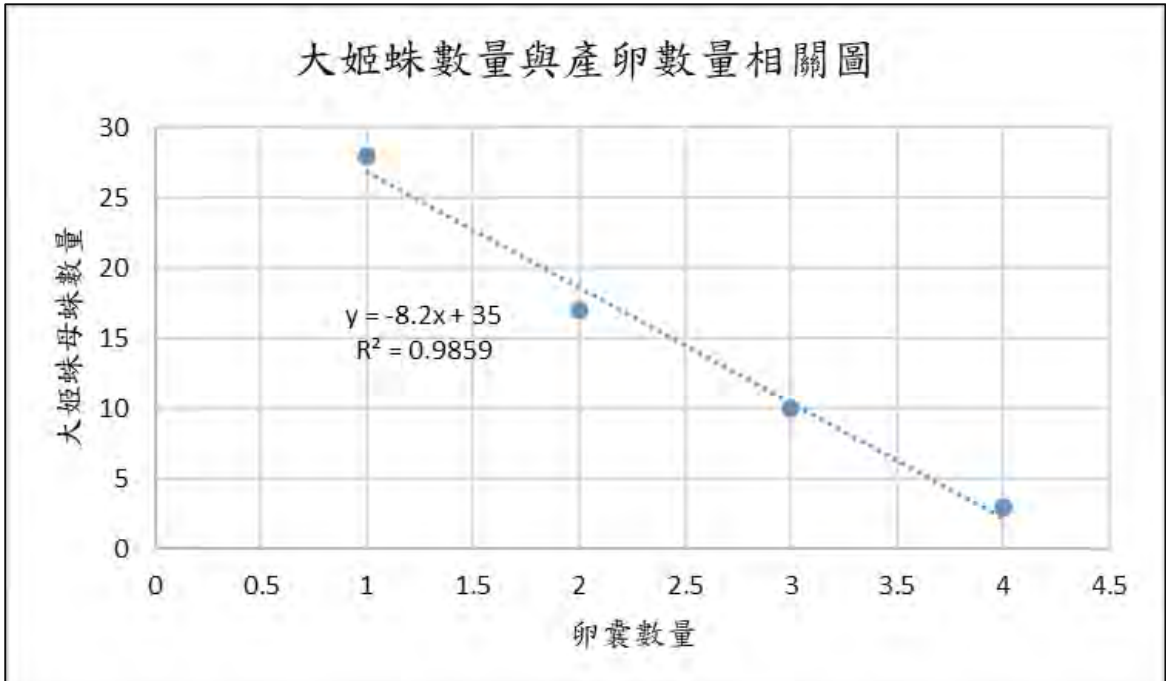
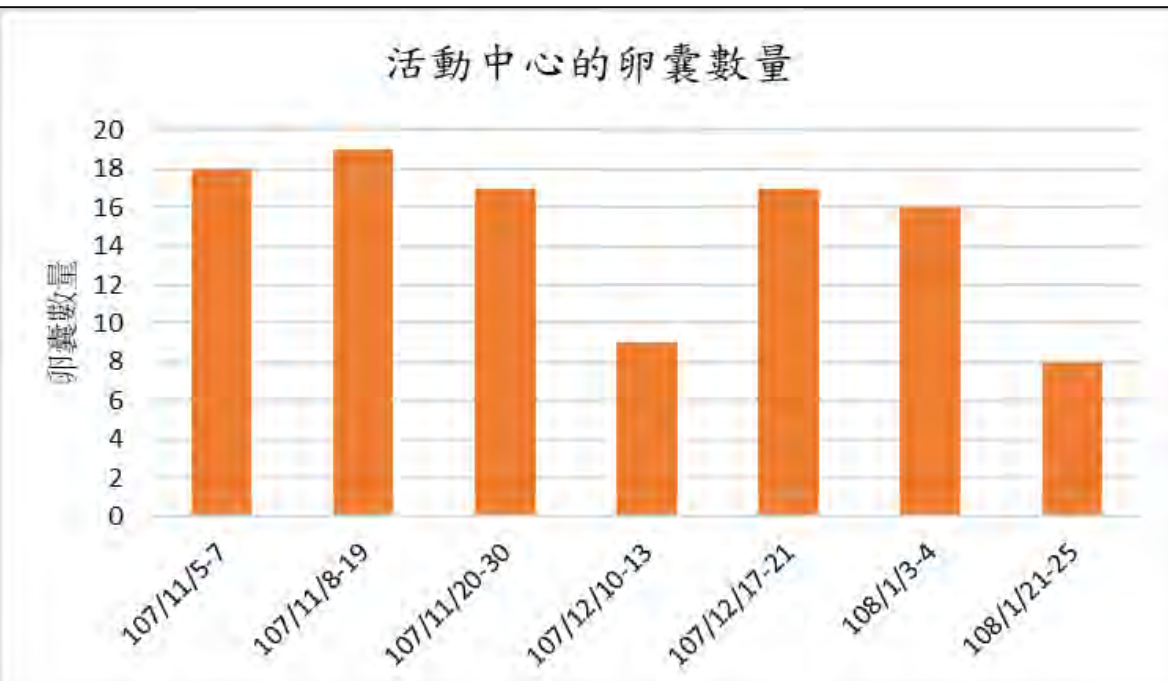
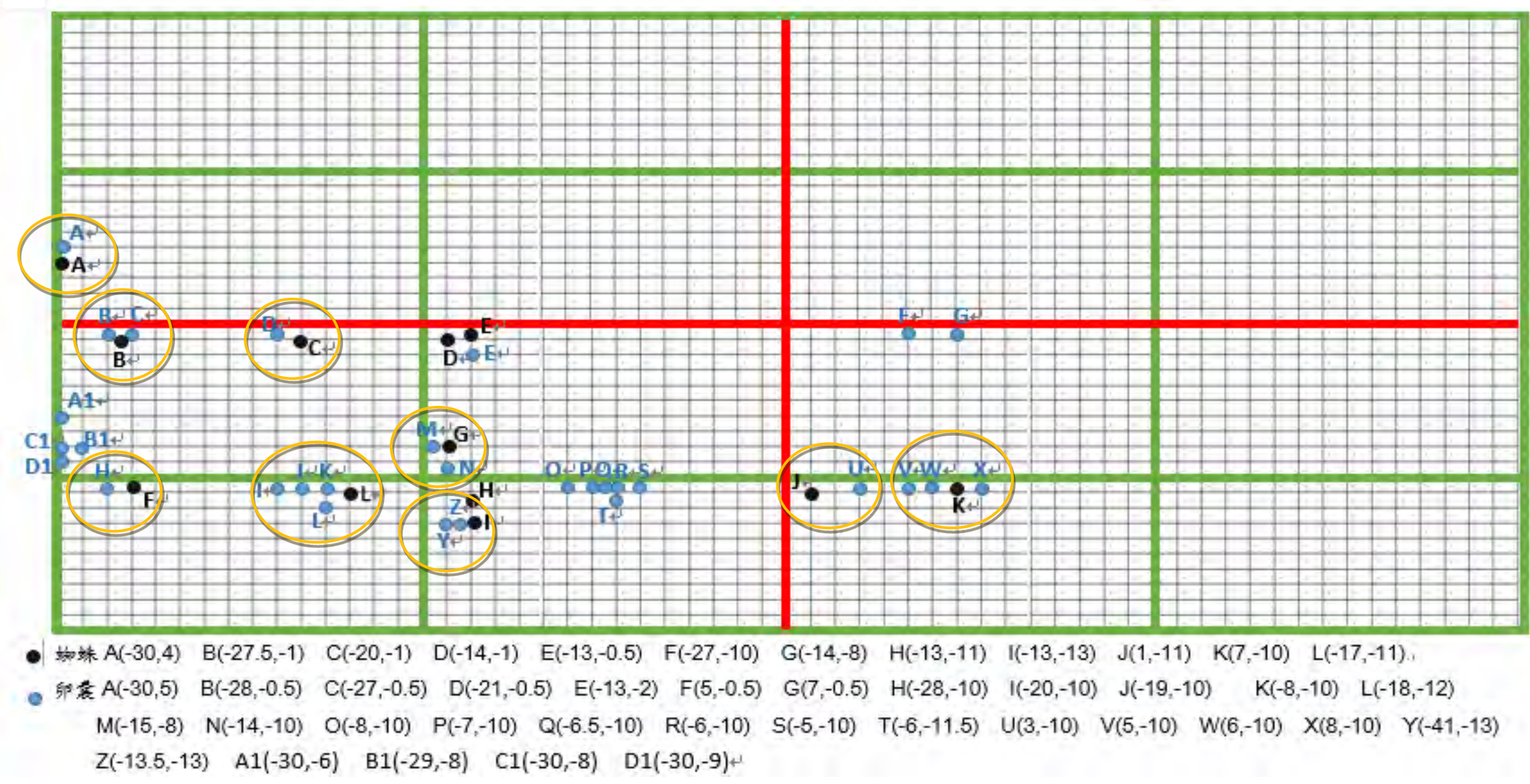
以3.15為例，1.肩斑銀腹蛛分布的區塊分布在左側，而簷下姬鬼蛛皆分布在最邊緣欄杆上。2.中午肩斑銀腹蛛數量多，到了傍晚簷下姬鬼蛛才逐漸出現在欄杆，肩斑銀腹蛛數量也增加。3.中午肩斑銀腹蛛分布在左側，到了下午逐漸移動到右下方。



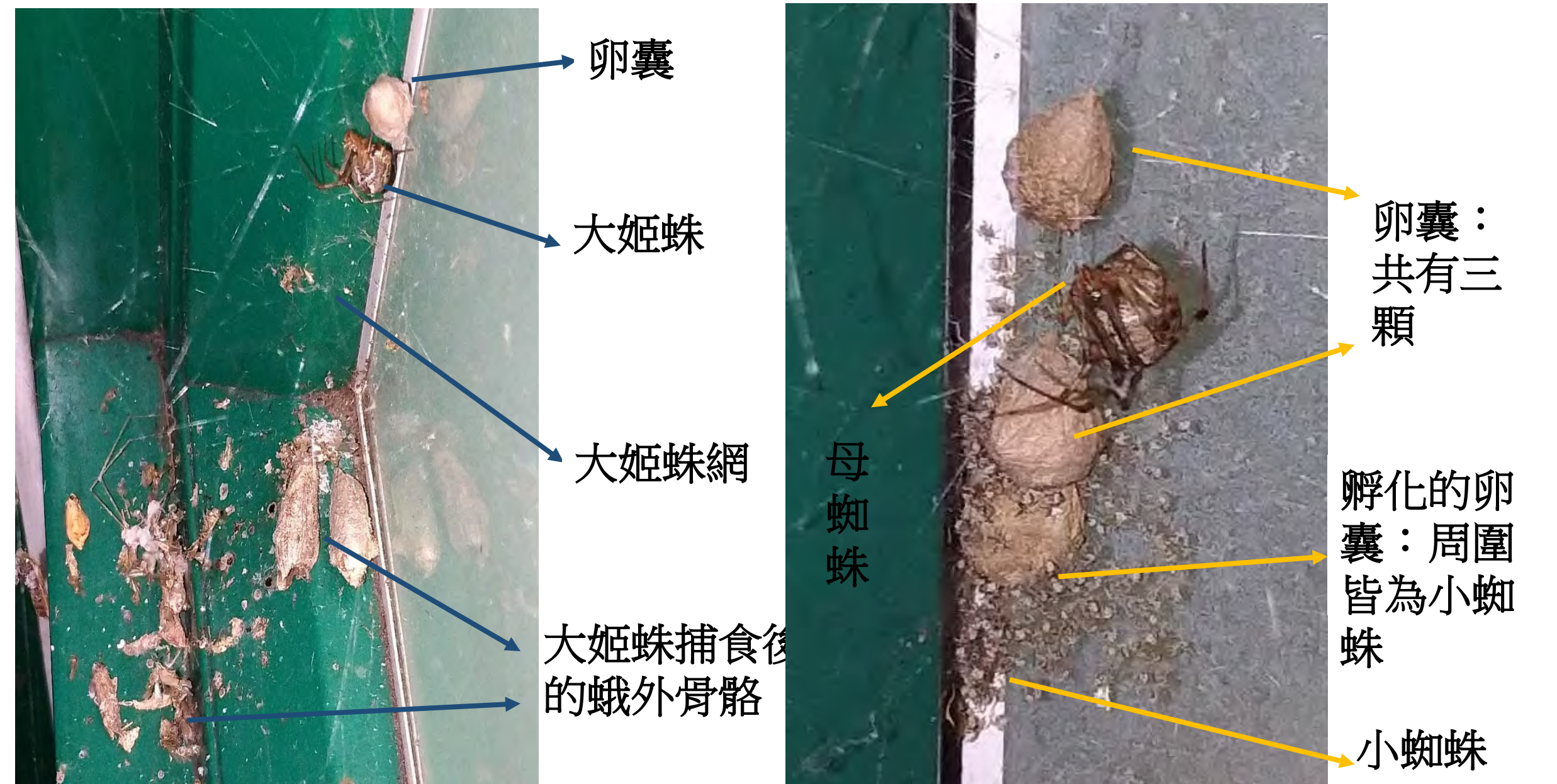
討論與結論：以平均數量來看，肩斑銀腹蛛中午所觀察到的數量較多，下午所觀察到的數量較少；而簷下姬鬼蛛在中午的數量比較少，下午的數量比較多，依照度的分析後顯示，不論是**肩斑銀腹蛛**或**簷下姬鬼蛛**，中午或下午的照度與蜘蛛的數量，相關性不大，所以蜘蛛出現的時間，是蜘蛛本身的習慣使然，與光照無相關性。花園中蜘蛛出現的數量，第二象限數量>第三象限>第四象限；因第三及第四象限有種植花木，常有人工修剪，導至蜘蛛出沒較少。

(二)活動中心的蜘蛛分布

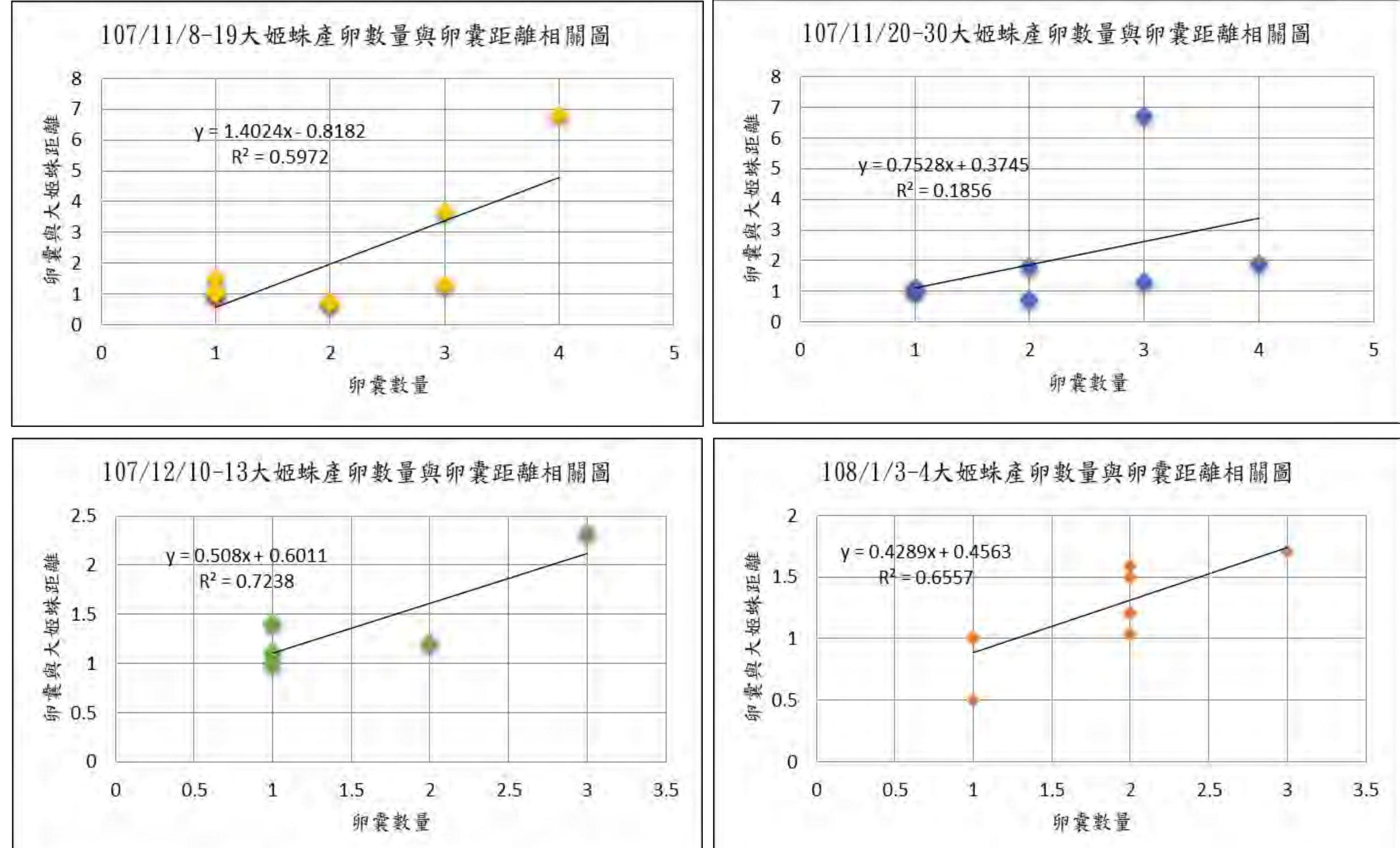
活動中心的蜘蛛種類為**大姬蛛**，與其他地區最大的差別在於此為一個陰暗的環境。而在此處織網的大姬蛛皆為**育幼的雌性蜘蛛**。一隻母蛛通常會保護一顆以上的卵囊，並且在護卵期間待在卵的旁邊不移動。下圖為大姬蛛與卵囊之間的相對位置，其中藍色的為卵囊，黑色的為母蛛。大姬蛛會在自己的卵囊旁，保護卵囊。因此母蛛與卵囊之間的距離，是我們在研究中非常好奇的部分，研究期間紀錄了母蛛與卵囊的座標，觀察到的現象以107/5-7日為例子，從圖中的座標位置可以發現，**母蛛都位於自己的卵囊周圍**，如上圖所示。黃色的圈為母子關係。



討論與結論：活動中心的卵囊數量有週期性，隨著卵囊的孵化，小蜘蛛的離開，母蜘蛛會因死亡或離開而減少，導至卵囊數量跟著減少。母蜘蛛每次產卵的數量最少為1顆，最多為4顆。產1顆卵囊的母蜘蛛最多，產4顆卵囊的母蜘蛛最少，可能因為產1顆卵囊較易照顧，母蜘蛛的負荷較小，小蜘蛛的存活率較大。



在研究過程中，我們觀察到大姬蛛守護卵囊的位置，以及若蛛孵化後的狀況。上圖為研究中我們在活動中心所觀察到的大姬蛛位置，織網的位置在兩個窗框旁，其卵囊接近窗框，而母蜘蛛會在自己所產的卵囊旁保護卵囊，其食用過的昆蟲屍體，皆會掉落在主網的下方。右圖的母蜘蛛擁有三個卵囊，可以觀察到，母蜘蛛十分的貼近卵囊，而最下方的卵囊已有若蛛孵化，並且散布在原本卵囊的周圍，甚至有些已遷移到母蛛的主網上。



我們分析了大姬蛛母蛛所保護的卵囊數量與卵囊距離的線性關係，分析後發現**大姬蛛**產卵數目與卵囊距離呈正相關。大姬蛛產卵數量越多其距離卵囊越遠，這是因為要照顧的卵囊越多，大姬蛛的活動範圍越大。

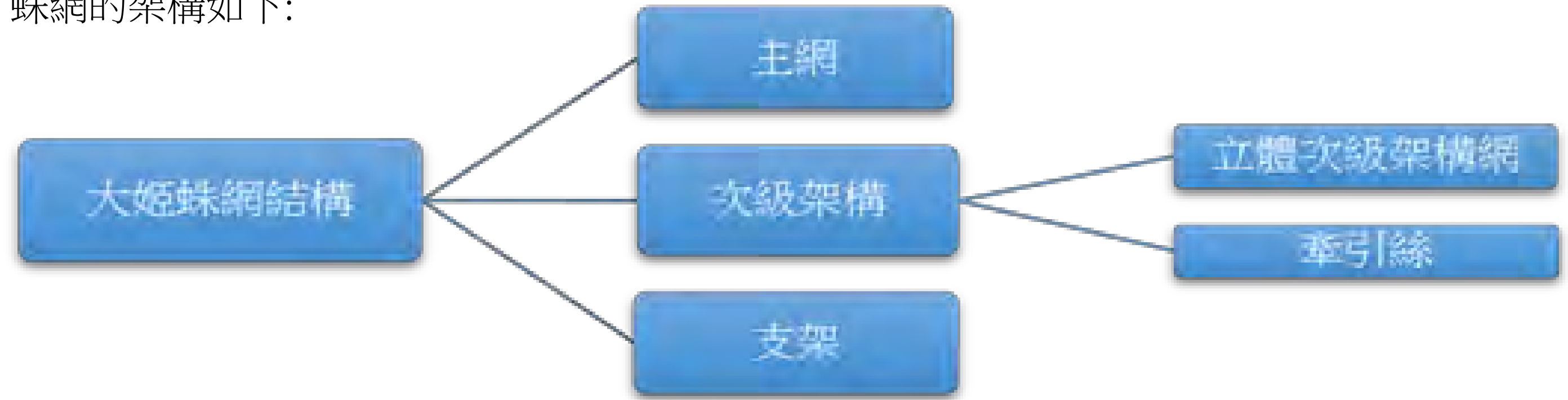
大姬蛛網的拓撲研究

(一)校園常見蜘蛛的蛛網特色及卵囊位置

校園中最常見的蜘蛛為**肩斑銀腹蛛**、**簷下姬鬼蛛**以及**大姬蛛**。三種蜘蛛的棲息環境不同，肩斑銀腹蛛偏好在植物上結網，簷下姬鬼蛛偏好在欄杆上，大姬蛛偏好在較陰暗的人造環境結網及育幼。下表為研究期間觀察到的蛛網特色，其中大姬蛛為不規則網，與另外兩種的圓網差異最大，大姬蛛不規則網對我們而言是極具吸引力。

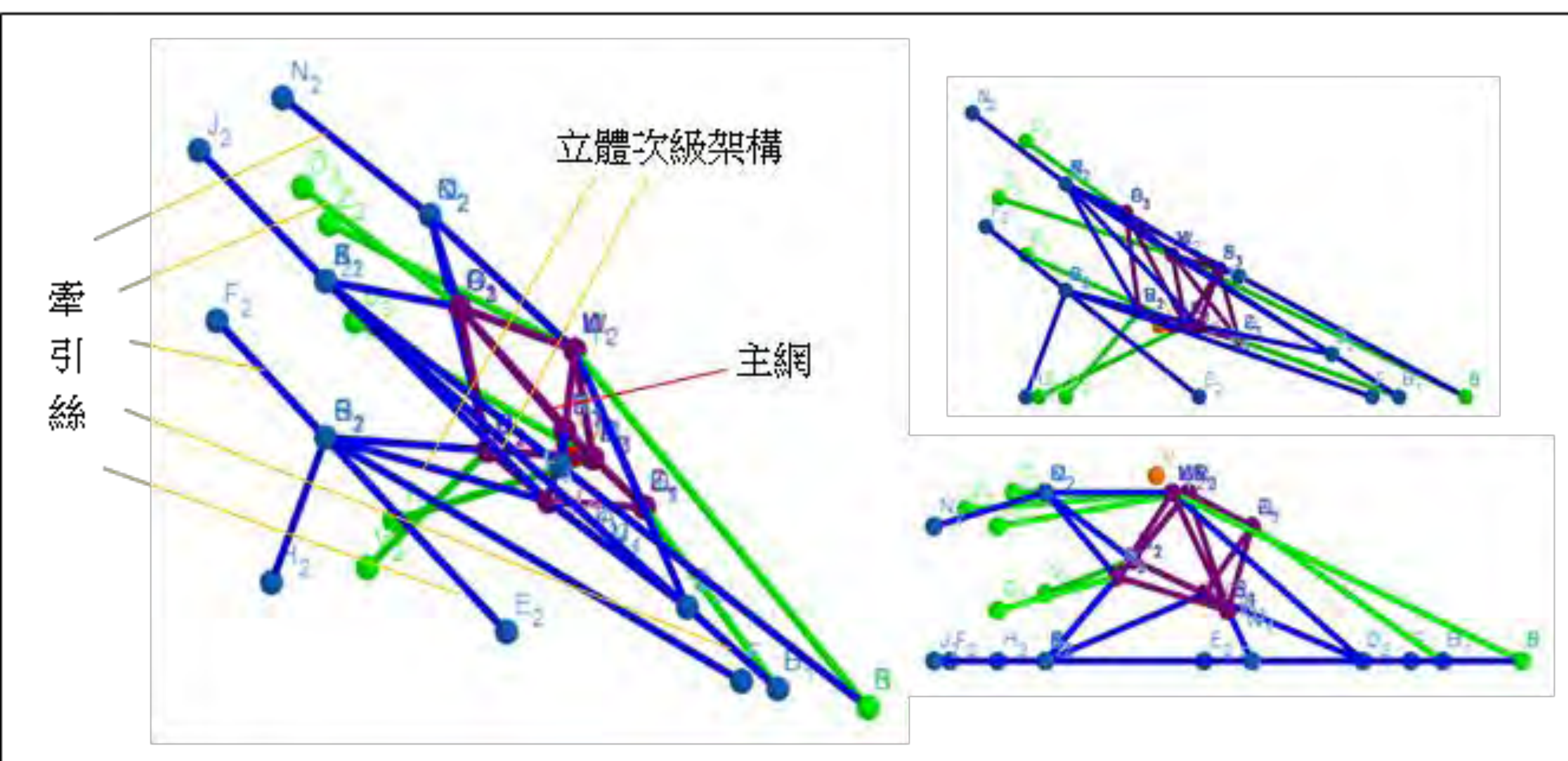
蜘蛛名稱	肩斑銀腹蛛	簷下姬鬼蛛	大姬蛛
蛛網外觀			
蛛網特色	圓網	圓網	不規則網

以圓網為例，周圍的次級結構為牽引絲，並且構成框架，而穩固中間的主網結構。圓網是最常見的蜘蛛網，其結構已有很多人研究過，也因此我們對於不規則網產生好奇。而大姬蛛網的架構如下：



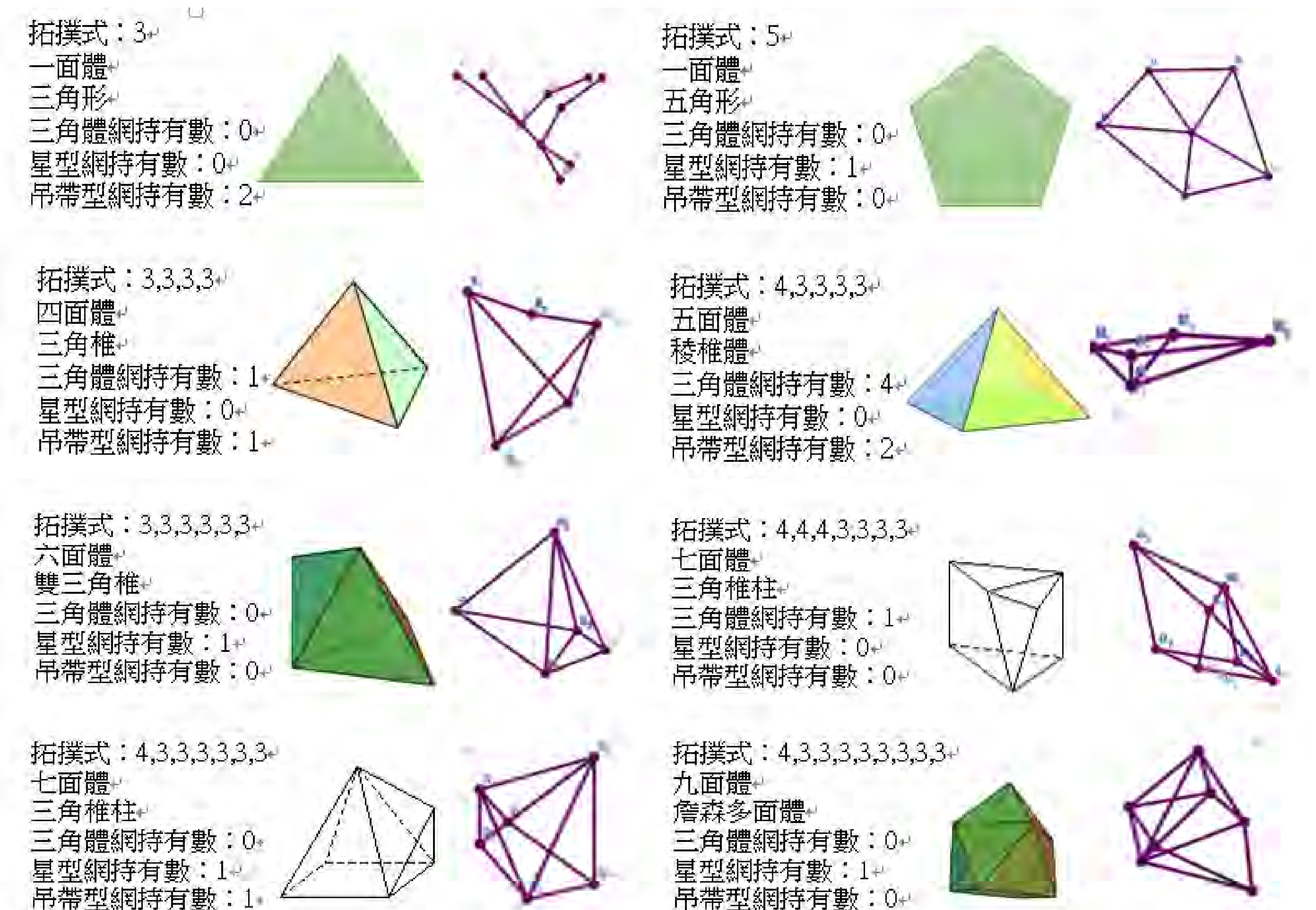
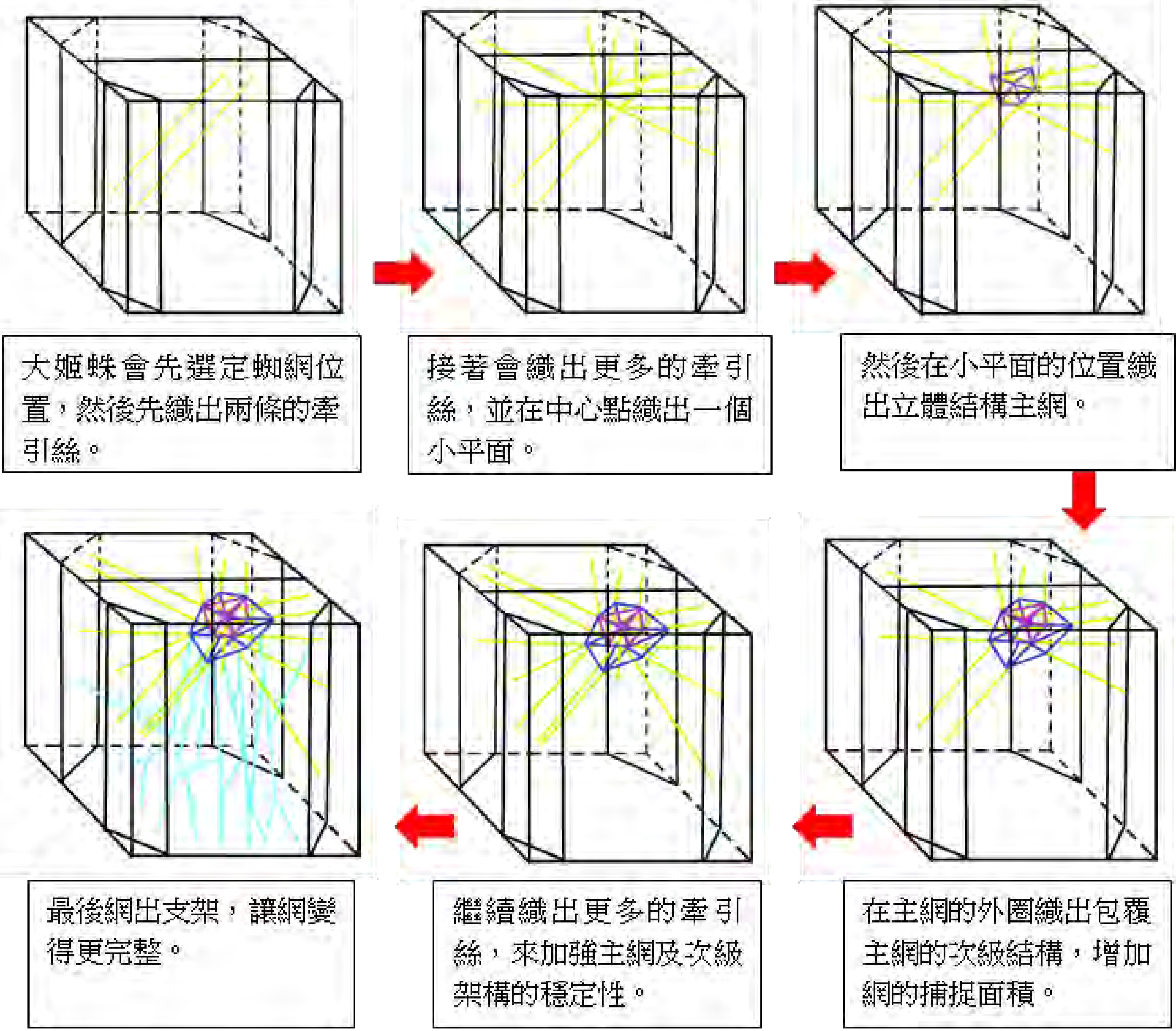
(二)不規則網型狀的定義

利用GGB立體的結構完成20個大姬蛛的網，其中16個網為自然環境中的網，另外4個網為捕捉野生大姬蛛放置在飼養箱中所織的網。我們依上表的架構，將這20個網歸納分類成三個形狀：**吊帶型**、**三角體**、**星型**。

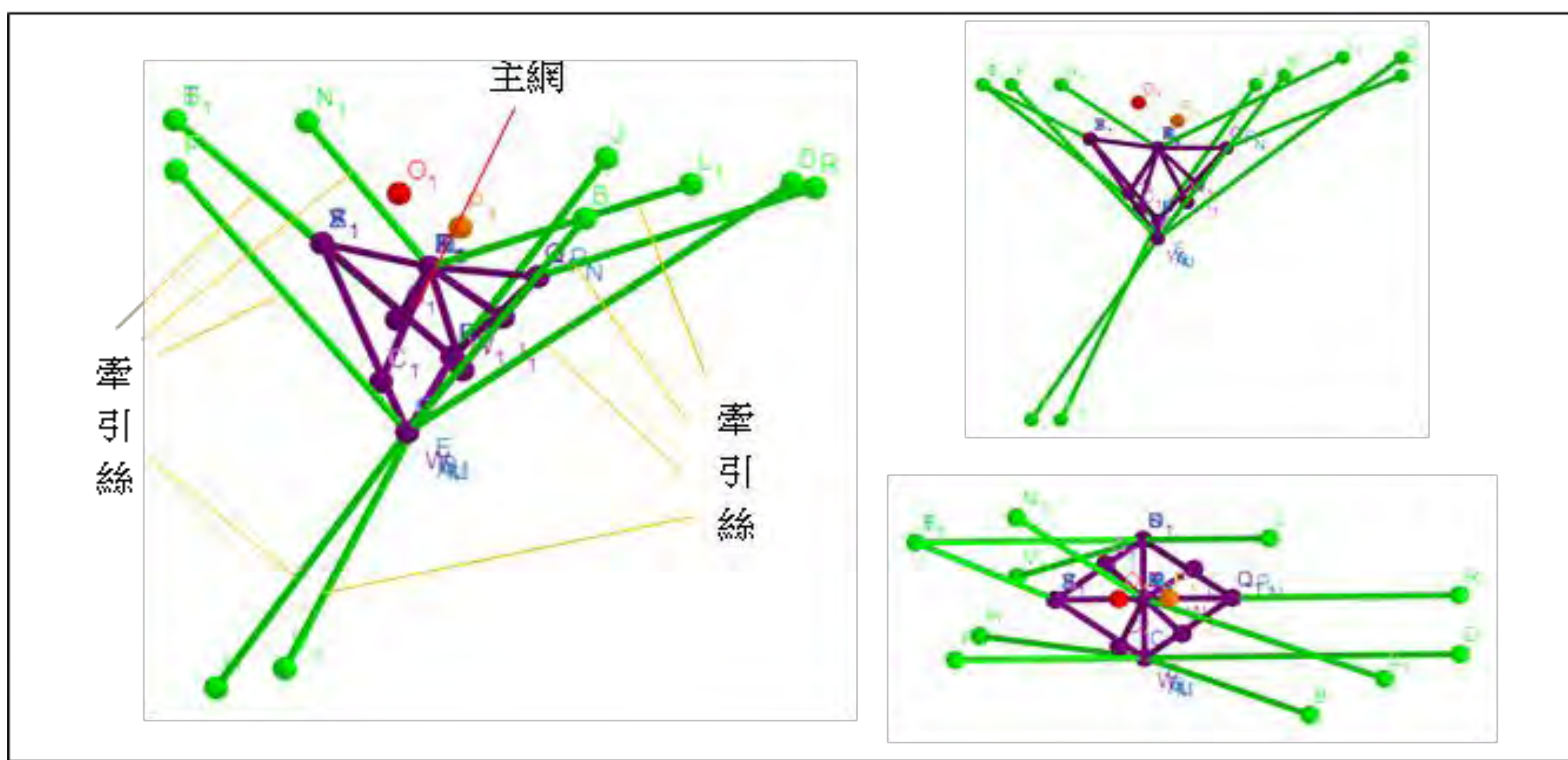
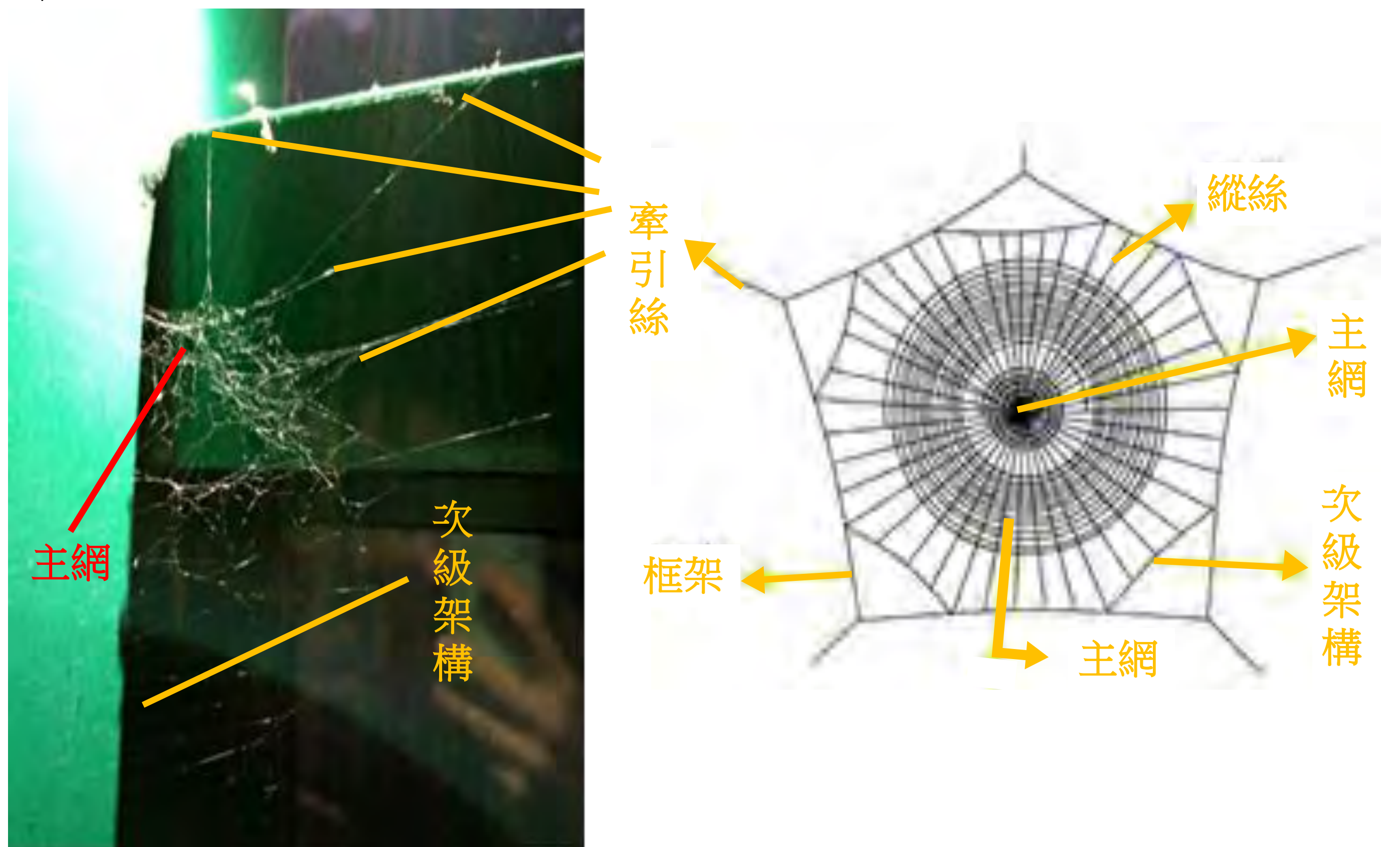


三角體定義：牽引絲的附著點，最少必須滿足下列四種條件其中之一：左與下、左與上、右與上、右與下。必須有主網及立體次級架構。蜘蛛網的環境必須在有一個小於90度的夾角處。

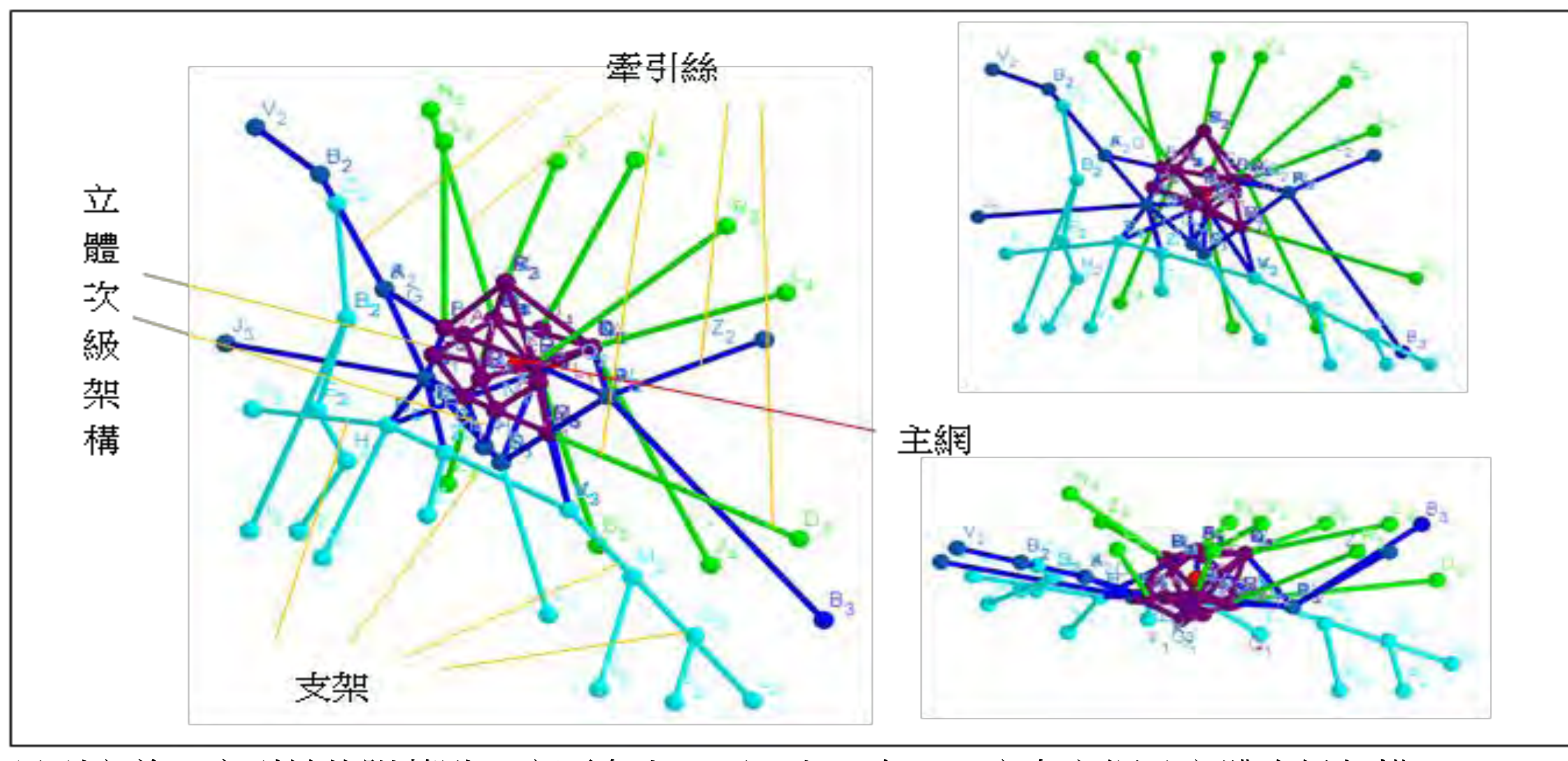
(三)大姬蛛織網過程



蜘蛛網是多功能結構，其主要功能是消散衝擊獵物的動能，以達到最小化結構損壞狀況。蜘蛛絲非凡的力量和延展性是因為很多因素造成的。然而，很明顯拓撲結構在撞擊時的結構性能是決定性的，並且不同絲線的佈置也會發揮作用。蜘蛛網的幾何形狀的微小變化會影響蜘蛛網狀的捕食能力。大多數的校園蜘蛛都是圓網蛛，而大姬蛛是結不規則網的蜘蛛。



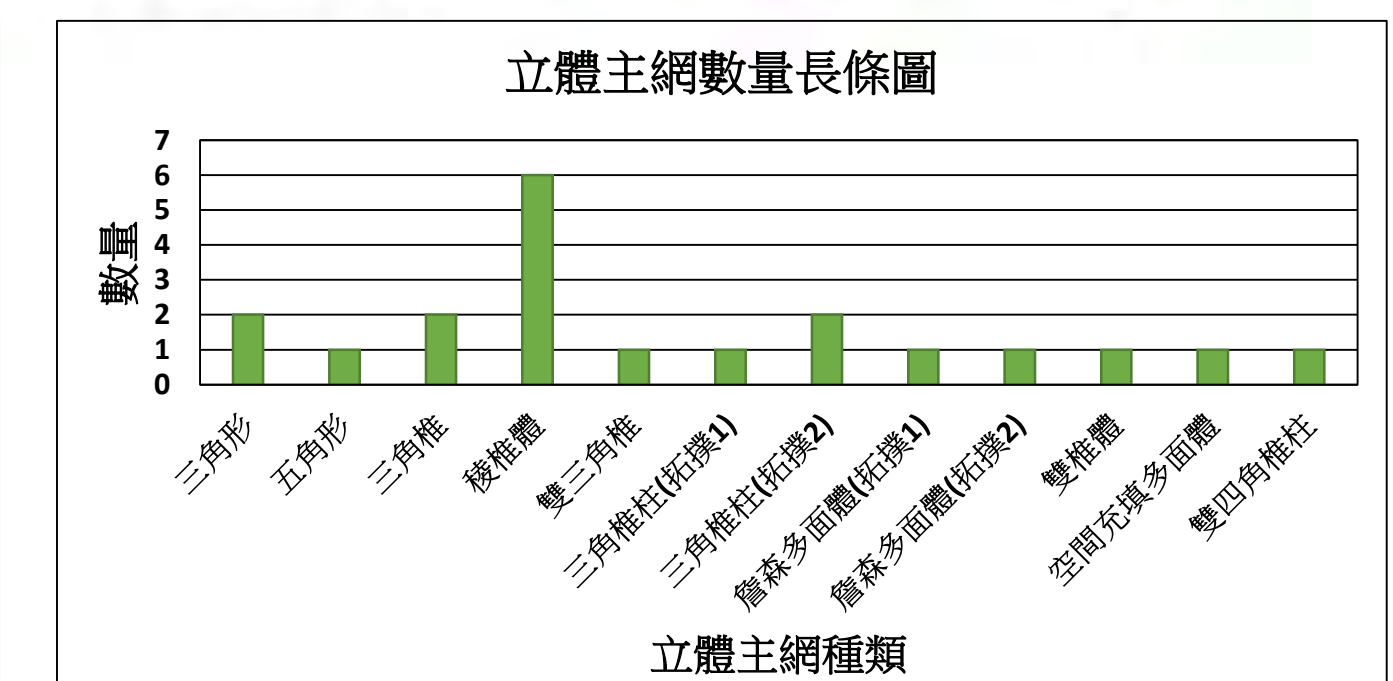
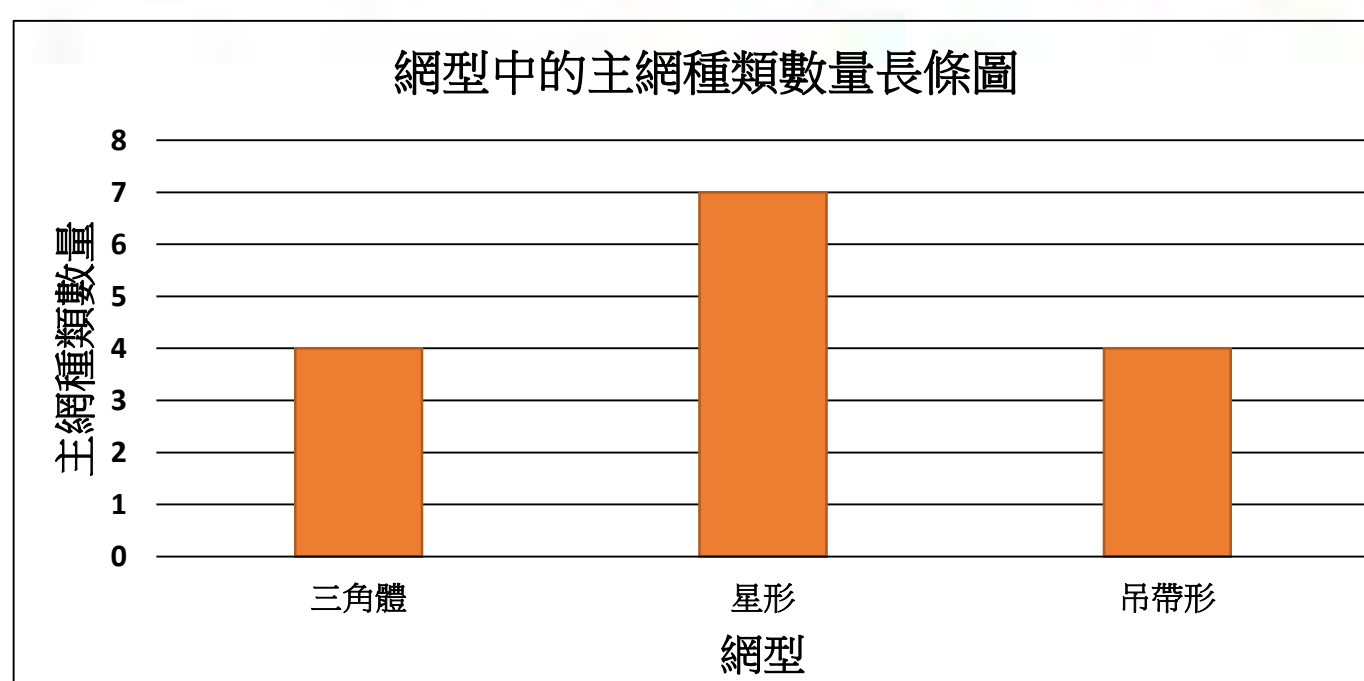
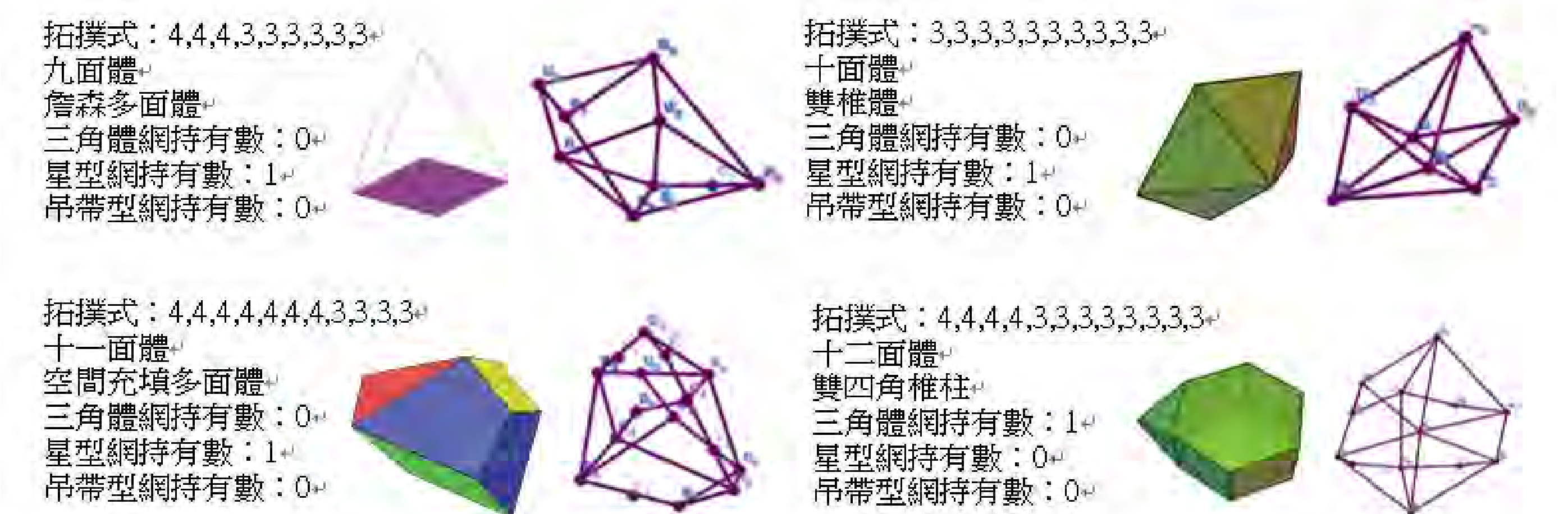
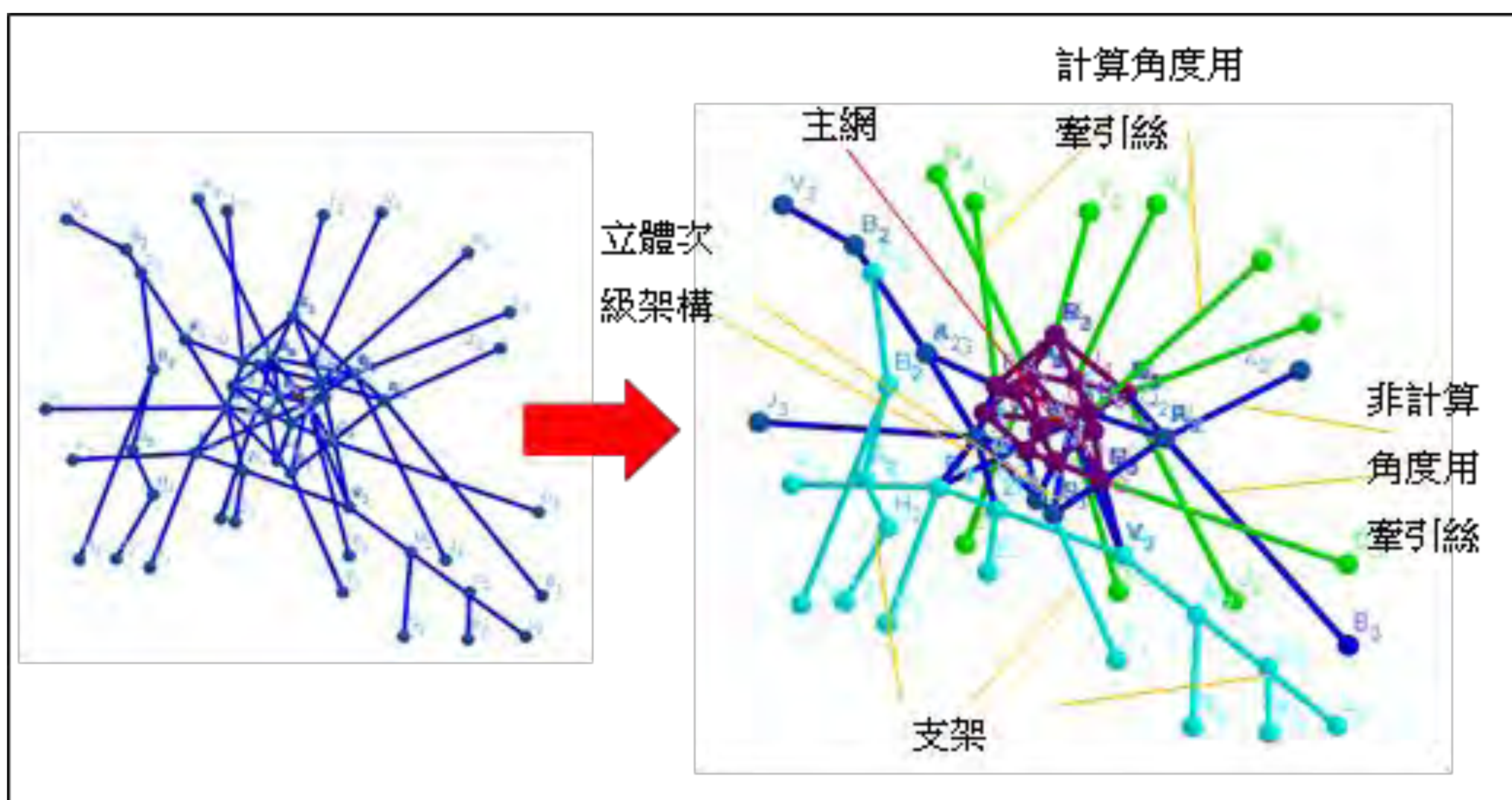
吊帶型定義：牽引絲附著點不固定。必須有主網，但沒有立體次級架構。



星型定義：牽引絲的附著點一定要有上、下、左、右。一定有主網及立體次級架構

(四)大姬蛛網結構的相關性

大姬蛛網的基本架構數值測量：我們想要知道不規則大姬蛛網，有沒有特定的形狀外，也想知道大姬蛛在織網過程中與結構上，有沒有特定的規律。將大姬蛛網分為六部份：**測量附著角度的牽引絲**、**牽引絲的角度**、**立體主網結構**、**最大立體平面主網**、**立體次級架構**、**支架**。



討論與結論：星型的主網種類最多，因為星型主網的牽引絲較多，所以可變化的種類也相對較多。主網的面越多，結構越穩固。而立體主網架構中，**稜椎體**的數量最多，因為稜椎體較不複雜，也是簡易主網中最穩固的種類。

