

# 2021 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 050001

參展科別 動物學

作品名稱 探討中型金蛛(*Argiope aetheroides*)與長圓金蛛  
(*Argiope aemula*)隱帶功能之研究

就讀學校 基隆市立武崙國民中學

指導教師 葉玉君、曾義原

作者姓名 謝允馨、謝允晨、林均融

關鍵詞 隱帶、振動幅度、仿生

## 作者簡介



我是謝允馨，對於生物充滿熱情，對於科學有極高的熱忱，研究中結合生物以及物理的實驗，真的十分有趣。

我是謝允晨，在科學研究的路上雖然遇到很多的挫折，但每當解決困境後，自己學習到更多，也讓我覺得對於研究更加的充滿興趣。

我是林均融，是一個很樂觀的男孩，喜歡自然科學，更喜歡學習新事物，這就是我不斷研究的動力。

## 摘要

本次研究主要探討中型及長圓金蛛蛛網隱帶的結構不同，所造成的振動模式差異。蜘蛛網面的結構會直接影響到蛛網結構的振動方式，以及能量散布的情形。為了了解蜘蛛網有無隱帶結構對於獵物衝擊網面的影響，使用釣魚線及蠶絲進行模擬蛛網。實驗結果顯示，不論長圓或是中型金蛛其隱帶的長度與體長成正相關。金蛛隱帶的長度與環境溫度、照度和風速的相關性不高。而在複式顯微鏡下發現金蛛隱帶的構造有疏密之分。仿生金蛛網不論是何種類型隱帶，皆無法減少受模擬風吹拂網面的振幅，僅有蠶絲密十字型隱帶能夠有效減少受模擬獵物撞擊網面的振幅。此外，蠶絲仿生網的振動幅度較釣魚線小，穩固性較佳。

## Abstract

This study mainly discusses the difference in oscillation mode caused by the different structures of the *Argiope aemula* and *Argiope aetheroides* webs. The structure of the spider web will directly affect the oscillation mode of the spider web structure and the energy distribution. In order to understand the effect of the stabilimenta structure of the spider web on the impact of the prey on the surface of the web, fishing line and silk are used to simulate the spider web. The results of the experiment showed that the length of the stabilimenta and the body length are positively correlated with the length of the stabilimenta, regardless of whether it is *Argiope aemula* or *Argiope aetheroides*. The length of the golden spider stabilimenta is not correlated with ambient temperature, illumination and wind speed. Under the compound microscope, it was found that the structure of the golden spider stabilimenta was divided into sparse or dense. No matter what type of stabilimenta, the bionic golden spider web cannot reduce the amplitude of the web by the wind. Only the silk dense cross-type stabilimenta can effectively reduce the amplitude of the simulated prey hitting the mesh surface. In addition, the oscillation amplitude of the silk bionic web is smaller than that of the fishing line, and the stability is better.

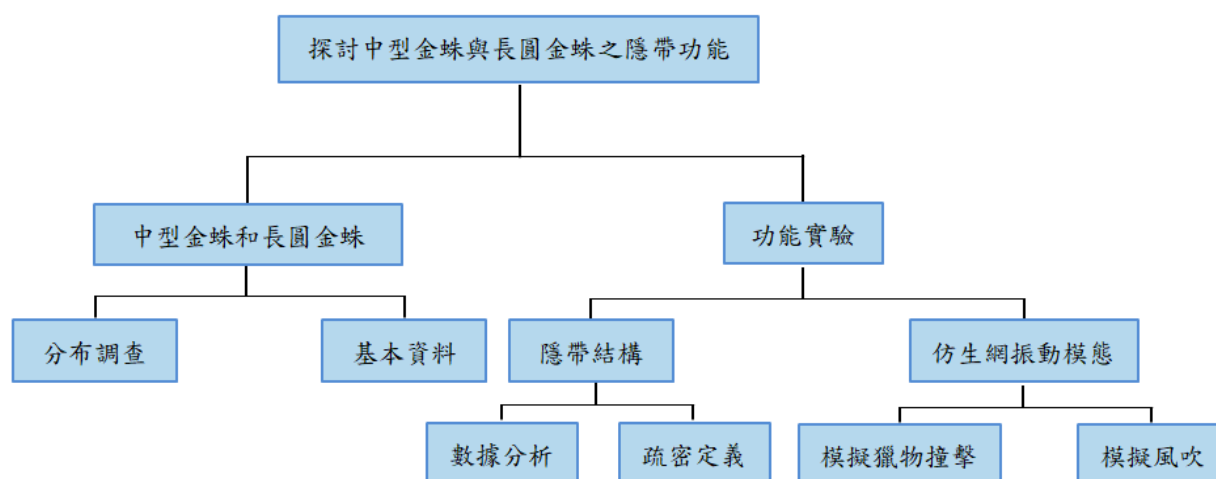
# 壹、前言

## 一、研究動機

在一次學校打掃的時候，我們發現窗戶上有一些「X」狀的白色帶狀物。查詢文獻資料後才知道那是金蛛的隱帶，但關於其功能說法都不盡相同，包括防止蜘蛛自身遭到捕食，並減少蛛網遭撞擊時振動的幅度；但在文獻中並無實驗支持隱帶能減少振動幅度。因此，我們決定針對隱帶對蛛網振動影響深入研究。

## 二、研究目的

- (一)探討校園金蛛分布與棲息環境之間的相關性
- (二)研究金蛛隱帶之結構
- (三)探究具有隱帶的仿生金蛛網與不具隱帶的仿生金蛛網其模態振型



## 三、文獻探討

### (一)隱帶功能

葉千瑋在野外觀察中發現蜘蛛因為受到獵物及掠食者雙方的壓力，不時會改變隱帶的形狀，而研究結果顯示，在隱帶出現頻率高，且形狀有較多的變化時，捕捉到的昆蟲數量較多(葉千瑋，2012)。Thomas Eisner 將一些蛛網，以白色紙片模擬十字型隱帶，設計實驗組與對照組，共三十張蛛網，觀察蛛網被飛鳥誤撞破壞的情形，實驗結果顯示隱帶可以減少蛛網被破壞(Eisner, 2016)。

以上兩點是在隱帶資料中提到的關於蜘蛛改變隱帶形狀的原因及隱帶的功能。

### (二)蛛網的振動模式


在蛛網振動的相關研究中，許捷宜提到在結構振動的特型中，自然頻率與相對的模態振型合稱為「振動模態」(mode of vibration)。「振動模態」是指結構受到自然頻率與「外力激振頻率」的影響，振動時所形成的模態，而結構在振動後會出現不同的振動型態(許捷宜，2018)。以上是關於蛛網的動態模式原理，與獵物撞擊到網面上及不同風速的風吹到網面上產生振動的原理類似，所以本研究也藉由蛛網的振動模態探討隱帶是否有穩固蛛網的方面進行探討。

#### 四、研究物種

##### (一)中型金蛛(*Argiope aetheroides*)

	分類	生態習性	
界	動物界 Animalia	分布: 低中海拔山區	
門	節肢動物門 Arthropoda	網型: 圓形	
綱	蛛形綱 Arachnida	體長: 雌 13-17mm、雄 5-6mm	
目	蜘蛛目 Araneae	又稱蟲蝕痕金蛛、類高居金蛛	
科	金蛛科 Araneidae	頭胸部有銀白色長毛，胸腹部呈五角形，體表主要為黃色，背部有黑、白橫條，前後步足張開成四條，在網上常見到隱帶。	
屬	金蛛屬 <i>Argiope</i>		
種	類高居金蛛 <i>A. aetheroides</i>		

##### (二)長圓金蛛(*Argiope aemula*)

	分類	生態習性	
界	動物界 Animalia	分布: 低海拔山區	
門	節肢動物門 Arthropoda	網型: 圓形	
綱	蛛形綱 Arachnida	體長: 雌蛛 20 -25mm 雄蛛 3.8-5 mm	
目	蜘蛛目 Araneae		

科	金蛛科 Araneidae	又稱好勝金蛛。腹部為卵形，且為黃、白色，胸腹部寬於頭部，若蛛與雌蛛背部不具黃斑。
屬	金蛛屬 Argiope	
種	長圓金蛛 <i>A. aemula</i>	

## 貳、研究方法或過程

### 一、探討校園金蛛分布與棲息環境

每天中午及傍晚在學校 2F-3F 及 3F-4F 樓梯間及學校後山環境，以九合一測量計測量溫度、濕度、氣壓、風速、天氣及每隻蜘蛛所處環境的亮度等變因。設定 XY 座標位置，用 Word 軟體繪成表格列印後當作自製座標測量蜘蛛的分布位置、體長、網的半徑、網面積及隱帶長度(圖 2-1)，並比較隱帶在人工及具有植被環境中的差異。蜘蛛的體長為頭胸部至腹部的長度，而網半徑則是主網外圍到網眼的距離。

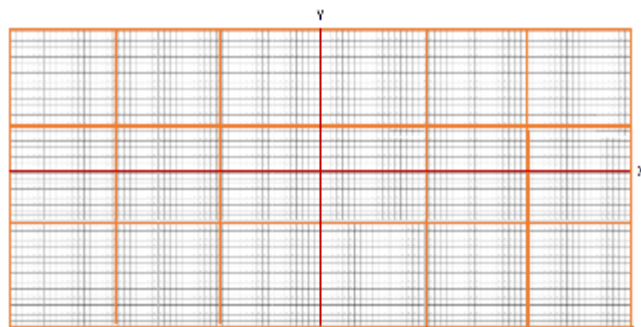


圖 2-1 分布位置與自製座標

### 二、隱帶功能研究

#### (一)野外隱帶結構分析

為方便觀察隱帶的結構及找尋隱帶結構的規律，研究中拍攝野外的金蛛隱帶，之後用 ImageJ 計算隱帶的斜線長度、隱帶的全長、每條絲線之間的長度、隱帶間的角度、每條絲線間的角度(圖 2-2)，最後用 Tinkercad 照隱帶的各項長度及角度繪製立體隱帶模型。

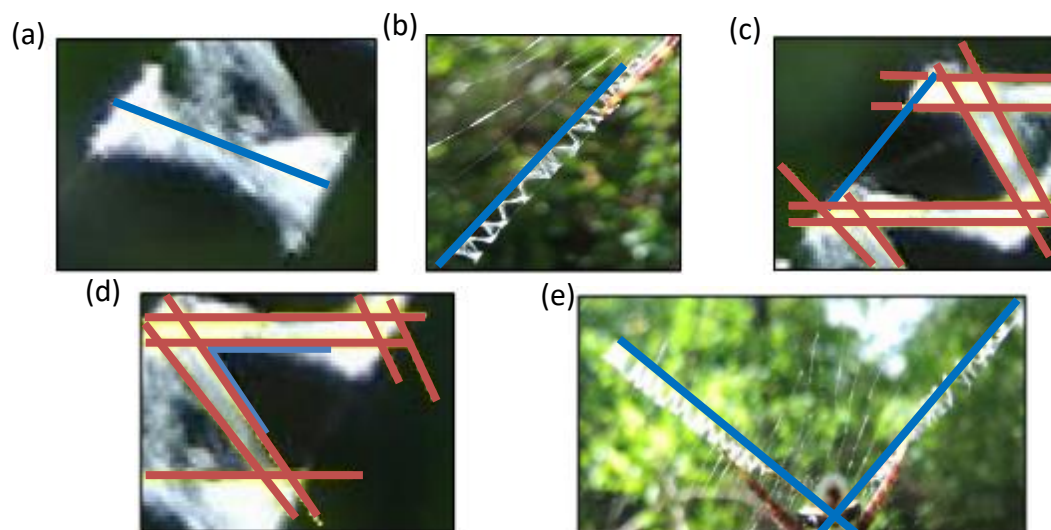


圖 2-2 隱帶數據定義，(a)為隱帶斜線長度，(b)為隱帶全長，(c)為絲線間的長度，(d)為隱帶間角度，(e)則為絲線間角度。

### (二)隱帶疏密程度定義

記錄蜘蛛的分布位置時，發現隱帶的結構有疏密程度的差異，為明確的分辨其疏與密，使用 ImageJ 計算出隱帶中絲線所占隱帶的總面積比例(%) (圖 4-5)，並計算密隱帶及疏隱帶比例的平均，以平均後的數字做為標準，定義疏密程度。公式：隱帶絲線面積/總面積。

### (三)隱帶顯微結構觀察

為深入了解隱帶的組成，及疏隱帶及密隱帶結構上的差別。研究中用兩片載玻片前後包夾隱帶，當作隱帶保存器以方便觀察。之後將隱帶放到顯微鏡底下觀察結構拍照，將每張顯微鏡照片調成 2.5 x 2.5 cm 的固定長寬比拼接在一起，即可看出隱帶的結構(圖 2-3)。

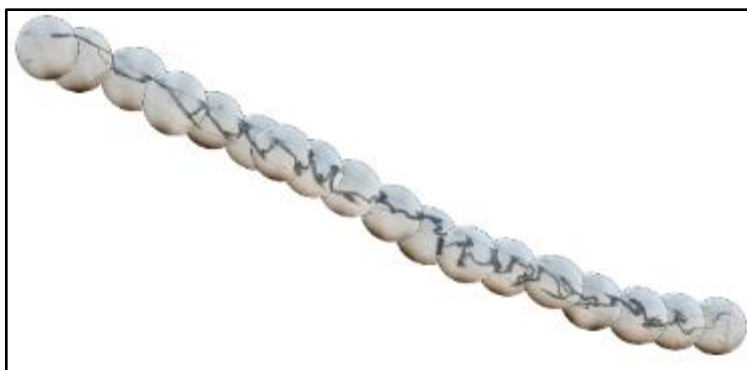


圖 2-3 隱帶顯微鏡圖

### 三、仿生金蛛網與隱帶研究

#### (一)探討蛛網結構

為了製作仿生網，必須先了解金蛛蛛網的結構，才能仿出與實際蛛網相似的結構，研究中使用手繪及自己飼養的金蛛蛛網的照片，藉此了解蛛網各處結構。

#### (二)測量蛛網直徑

為了解蛛網的相關構造，研究中使用顯微玻片量尺分別採集牽引絲、連接點、外網、縱絲、外圈橫絲、內圈橫絲及網眼的蛛絲，並以顯微鏡拍攝照片後，隨機取蛛絲上的 20 個位置測量直徑並平均，計為一次。重複 5 次的平均，即為蛛絲直徑。

#### (三)探討仿生隱帶對仿生金蛛網振動影響

為探討隱帶是否有使蛛網更穩固的功能，研究中使用釣魚線及蠶絲分別模擬結構及材質的自製仿生網及仿生隱帶。並且為了得知不同的隱帶形式和疏密對蛛網支撐的影響，分別製作了不同疏密及形式的隱帶，以平均風速 2.0 m/s 的電風扇模擬大自然中的風吹到蛛網時的情形，以及將自製的 3D 列印中空球(0.000223g)掉落至仿生網上，模擬獵物撞上網的情形，藉此觀察隱帶是否有支撐蛛網的功能。而質點即為觀測點。

1.釣魚線仿生網：首先，用瓦楞板製作 40\*40 cm 的外框。接著參考自己飼養金蛛結網的照片，等比例放大後以釣魚線當作蛛網的絲，用熱熔膠將每條絲線黏到外框。依照牽引絲→外網→縱絲→內圈橫絲→外圈橫絲的順序製作，並以紙膠帶當作質點黏貼在仿生網上(圖 2-4)。質點安排在牽引絲中間、牽引絲和縱絲的連接點、外網、隱帶放置的位置、內圈橫絲，觀察隱帶所有無對不同蛛網位置的穩固程度。但發現瓦楞板容易彎曲，釣魚線無法保持直線，故在瓦楞板外框加上木頭以增加支撐力。



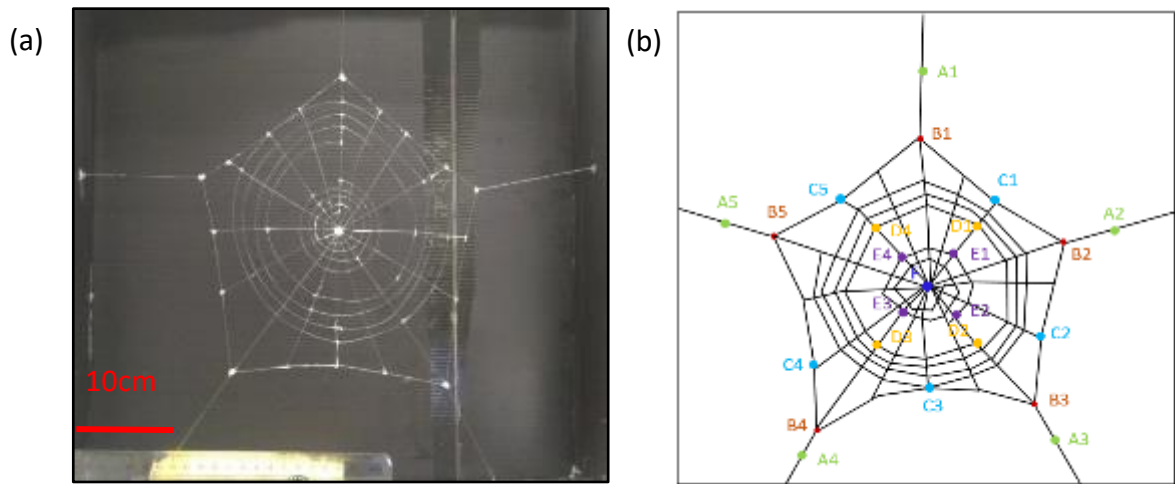


圖 2-4 釣魚線仿生網製作：(a) 完成圖 (b) 標上質點

### 2. 釣魚線仿生隱帶：

製作密隱帶：將釣魚線纏在試管上面，之後以強力膠固定，等到強力膠凝固後，將仿生隱帶從試管上取出即完成 (下頁圖 2-5-a)。

製作疏隱帶：嘗試過許多失敗的方法後，最後決定把製作密隱帶剩下的當作疏隱帶的絲線，增加每條絲線的厚度後，順利製作出想要的疏隱帶 (下頁圖 2-5-b)。



圖 2-5 釣魚線仿生隱帶製作 (a) 密隱帶 (b) 疏隱帶

3. 蠶絲仿生網：將蠶繭泡水並以酒精燈加熱至軟化後，以電風扇風乾至半乾狀態，將蠶絲由蠶繭中抽出纏繞至木棒上，即完成抽取蠶絲的部分。接下來依照釣魚線仿生網的結構及順序製作蠶絲仿生網，因紙膠帶黏貼於仿生網上容易掉落 (圖 2-6)，故以螢光筆在蠶絲仿生網上標記質點以代替紙膠帶。

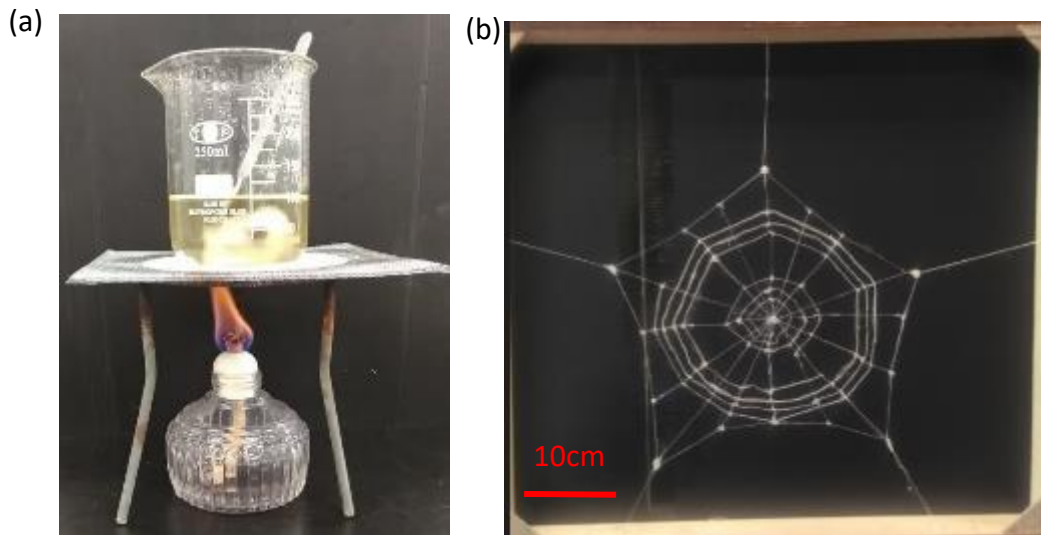


圖 2-6 蠶絲仿生網製作 (a) 以熱水加熱蠶繭 (b) 完成圖

4. 蠶絲仿生隱帶：與釣魚線仿生隱帶的製作方式相同，但因強力膠會破壞蛋白質的結構，故以膠水代替強力膠作為黏貼的方式(圖 2-7)。

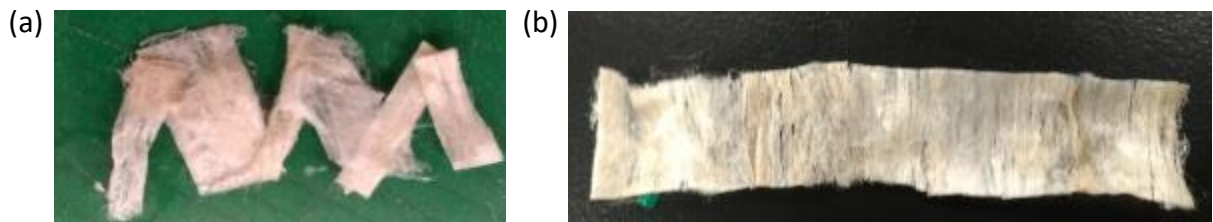
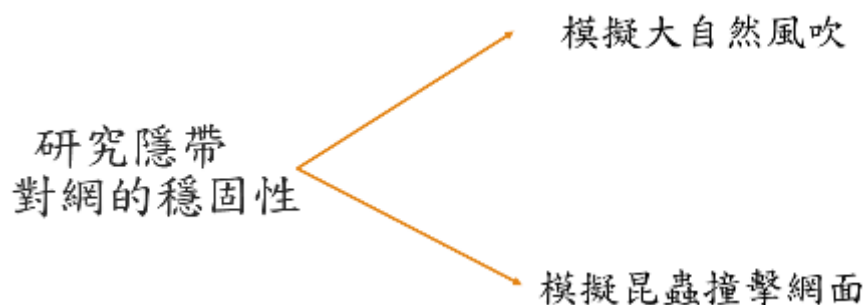


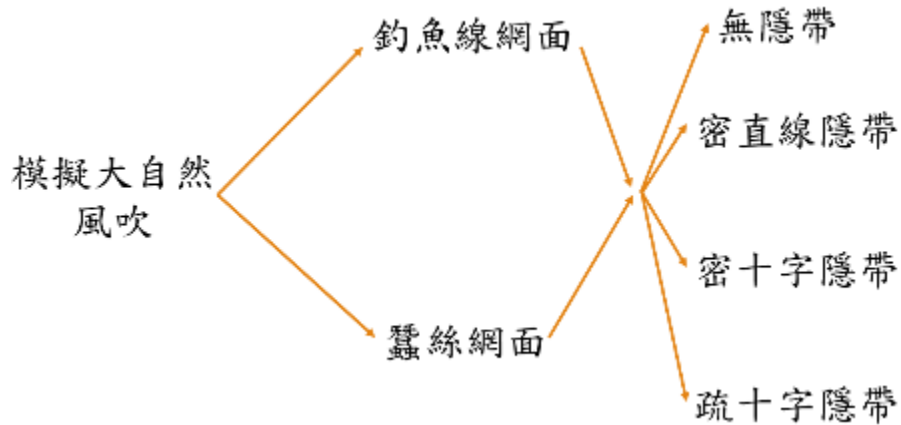
圖 2-7 蠶絲隱帶製作 (a) 疏隱帶 (b) 密隱帶

5. 振動實驗：分為兩個部分，分別是模擬風吹仿生網和模擬獵物撞擊仿生網的振動狀態，兩個部分皆會用無隱帶、十字型隱帶、直線型隱帶及疏隱帶進行測試。

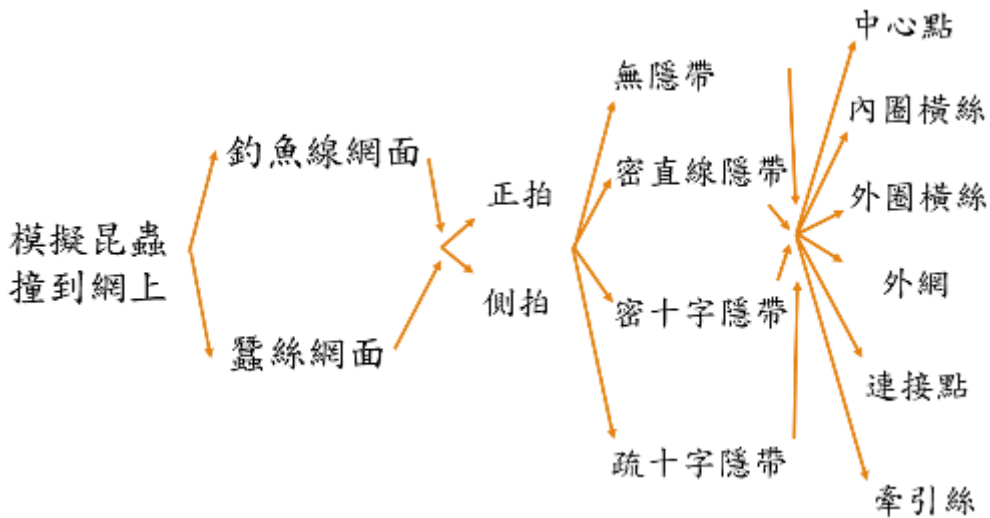


模擬風吹仿生網：將電風扇移到左後方距離仿生網 40 公分處，利用電風扇的三段風速進行振動實驗。並用手機分別從正面和側面錄影 20 秒，最後將影片用 Tracker 程式分析每個質點的振動數據後(圖 4-12)，

比較質點在不同時間的振動幅度及不同撞擊點對仿生網的影響。



模擬獵物撞擊仿生網：為了解當獵物撞擊到蛛網上的振動狀態，製作軌道及下方的中空長方體，並從 20 cm 處撞擊網眼、內圈橫絲、外圈橫絲、外網、連接點及牽引絲。(圖 4-13)之後手機分別拍攝從底下以及從側面的振幅，同樣將影片用 Tracker 程式分析每個質點的振動幅度後，比較不同位置在不同時間的振動幅度，並計算獵物撞擊到仿生網時所產生的動能。



## 參、研究結果與討論

### 一、研究結果



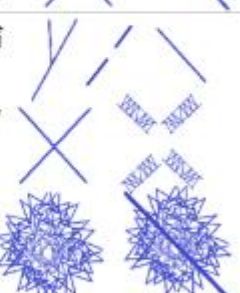

#### (一)探討校園金蛛分布與棲息環境之間的相關性

##### 1. 探討中型金蛛及長圓金蛛生活環境及織網變化

從分布資料中發現，在不同的生活環境下，金蛛的分布及隱帶都會受到影響，

因此我們調查了金蛛分布環境的差異性：

表 3-1 不同金蛛分布地點生活環境的差異性

地點	出現時間	環境照度 (lx)	環境風速 (m/s)	環境概況	隱帶形狀	周圍植被
2-3 樓樓梯間	整天	108	1.4	都在窗戶上結網		無
3-4 樓左窗	整天	327	3.3	都在窗戶上結網		無
3-4 樓右窗	整天	472	2.3	大部分在窗戶上結網，少數在窗戶內側		無
野外窗戶	整天	89	0.3	部分在紗窗上結網，少數在窗戶上		無

環境照度 108 lx 下，隱帶的形狀及分布較單一；照度提升至 327 lx 時，隱帶形狀多樣性提升，在照度 472 lx 時隱帶形狀種類最多，在野外環境照度僅有 89 lx，但隱帶形狀較環境照度 108 lx 時多。在 2.3 m/s 的風速下，隱帶形狀為最多元，其次為 3.3m/s 和 1.4m/s，而在環境風速為 0.3 m/s 時，隱帶形狀較風速為 1.4 m/s 時多。

(二)探討金蛛隱帶與環境因素之相關性

不同的環境對於金蛛的分布可能造成影響，因此針對每天的氣溫、濕度、照度、風速及氣壓與隱帶長度之相關性進行探討，並呈現相關性較高的圖表。

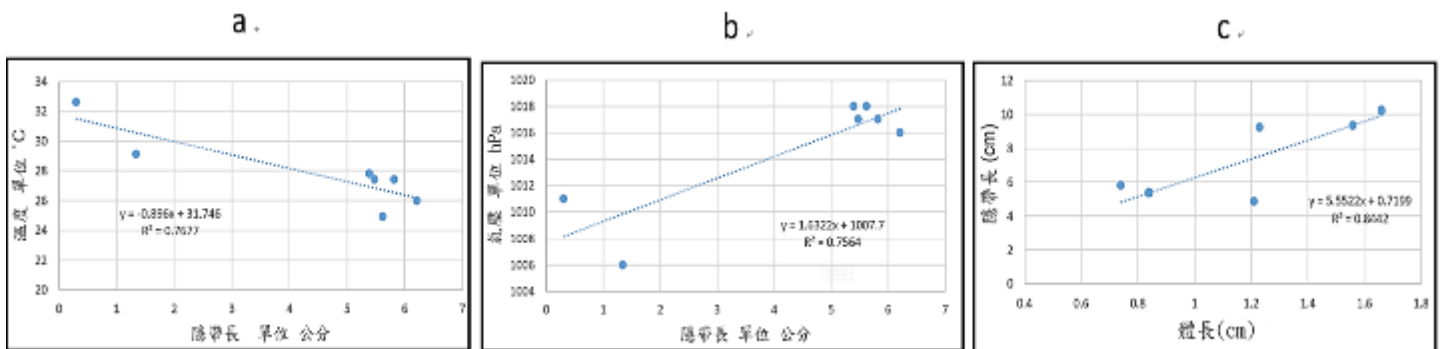


圖 3-1 中型金蛛隱帶長與環境因素之相關性

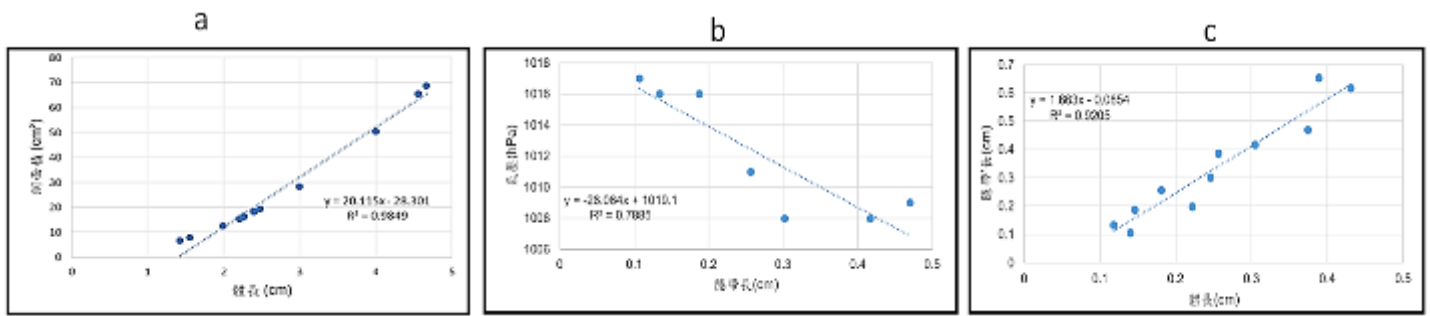


圖 3-2 長圓金蛛隱帶長與環境因素之相關性

- 1.在中型金蛛體長與隱帶長之相關性(圖 3-1c)及長圓金蛛體長與隱帶長之相關性(圖 3-2-c)中  $N = 98$ 、 $22$ ，且從圖表中可得知不論金蛛種類為何，體長較長時也隱帶較長，且  $r^2 = 0.8442$  及  $0.9205$ ，兩者呈現正相關。
- 2.從中型金蛛隱帶長與氣壓之相關性(圖 3-1-b)及長圓金蛛隱帶長與氣壓之相關性(圖 3-2-b)中  $N$  皆等於  $7$ ，但中型金蛛在隱帶較長時氣壓較高，長圓金蛛則恰好相反，而  $r^2 = 0.7564$  及  $0.7885$ ，分別為正相關及負相關。

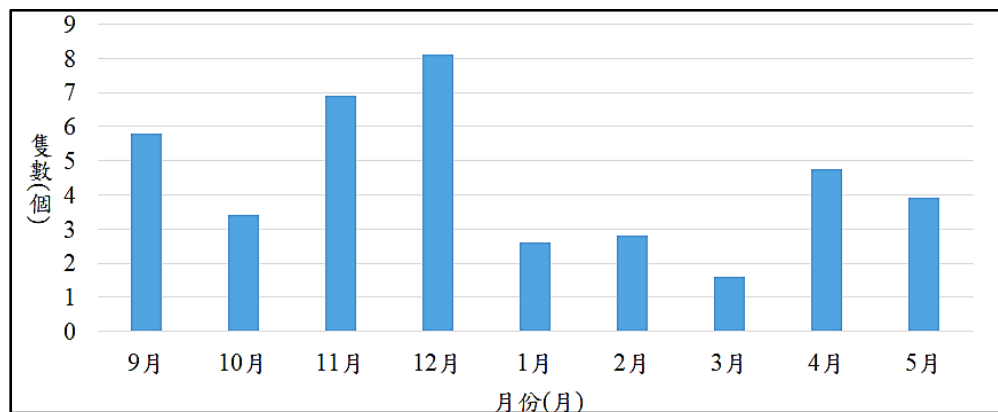


圖 3-3 09/19~05/29 個數平均長條圖

- 3.在單月金蛛總數長條圖(圖 3-3)可看出，在十一月到十二月時金蛛數量較多，但在一月時卻急遽下降。
- 4.在二月之後雖金蛛數量有上升趨勢，但五月金蛛數量仍較最多的十二月少。

### (三)探討隱帶的不同形狀

研究中發現金蛛會結不同種形狀的隱帶，且分成疏及密類型，但無法將花瓣型隱帶分類至這兩種，故暫不討論(圖 3-4、3-5、3-6)。

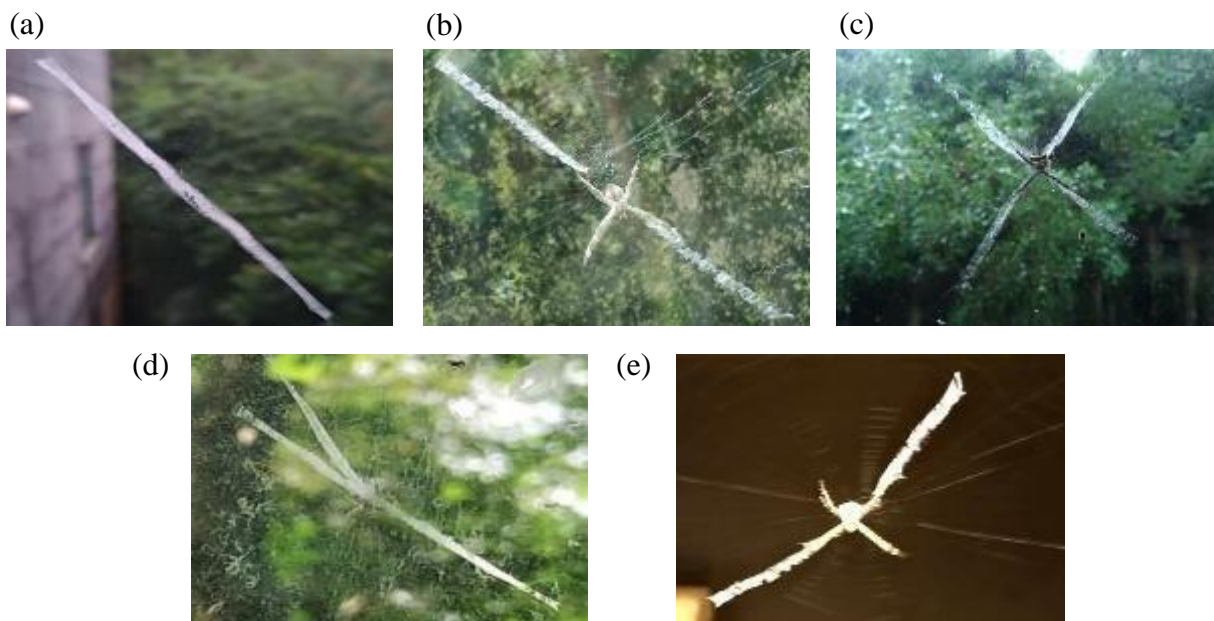


圖 3-4 密隱帶圖：(a)密直線型 (b)密直線型中斷式 (c)密十字型 (d) Y 字型

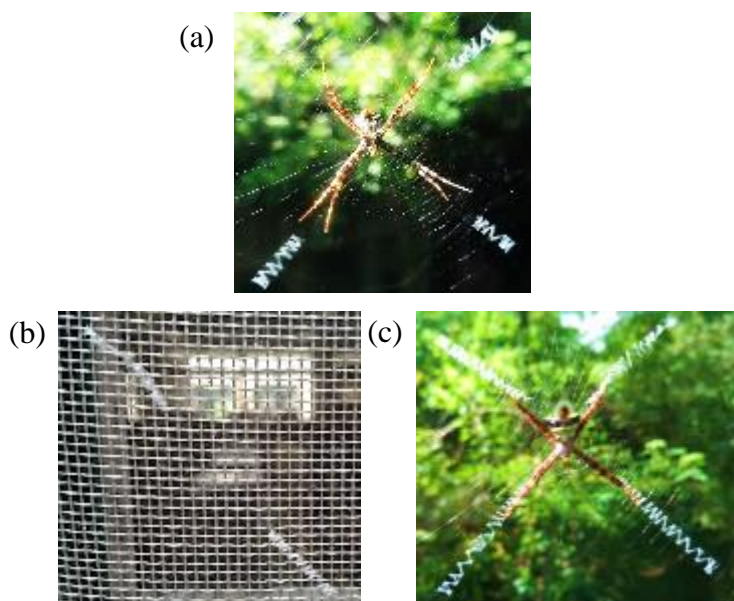


圖 3-5 疏隱帶圖：(a) T 字型 (b) 疏直線型中斷式 (c) 疏十字型



圖 3-6 花瓣型隱帶

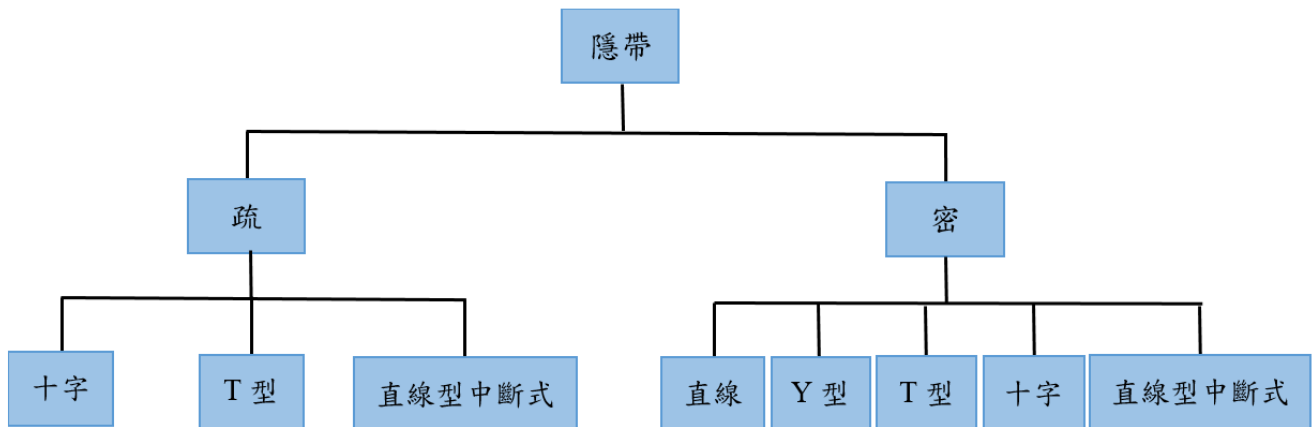


圖 3-7 隱帶分類圖

從圖中可得知，Y 型、彎曲型隱帶僅有觀察到密隱帶，而 T 型則是僅有疏隱帶的形狀。

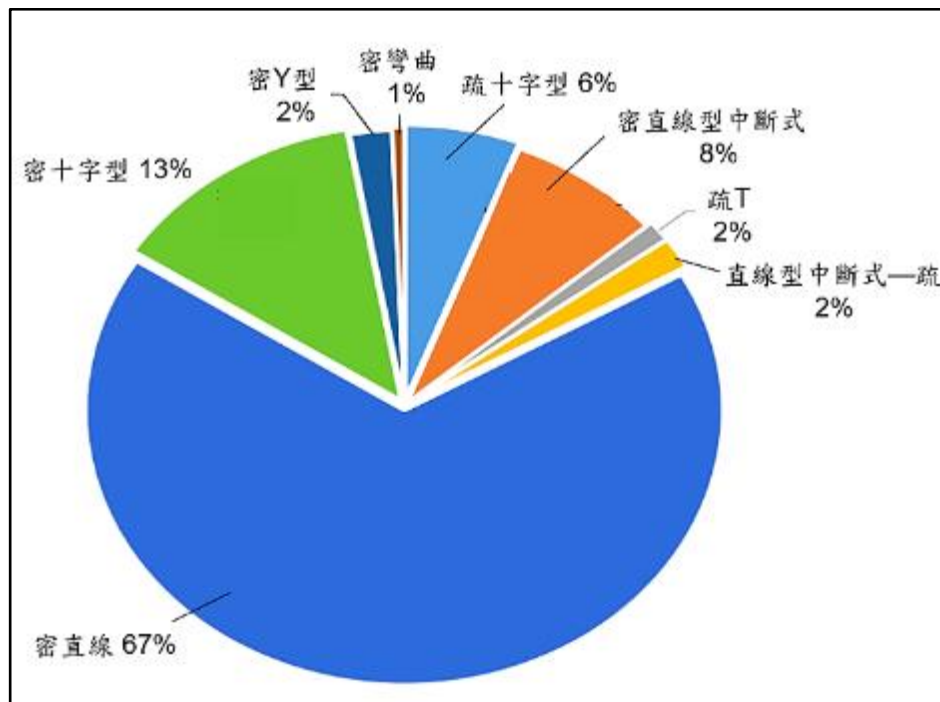


圖 3-8 中型金蛛及長圓金蛛之隱帶比例圓餅圖

經長時間紀錄，觀察到所有隱帶中，以密直線的比例最高，而十字型密隱帶的數量則是第二高，故在仿生網振動的實驗中，使用密直線、疏十字及密十字隱帶作為仿生的對象，探討不同隱帶形狀對於減少蛛網振幅的影響。

#### (四) 隱帶結構研究

##### 1. 野外隱帶結構分析

隱帶絲線間的長度(圖 3-9-a)越靠近蛛網內圈，長度減少，而隱帶上邊和下邊絲線間長度(圖 3-9-f)越靠近蛛網內圈，長度增加，且上下邊絲線間的長度(圖 3-9-d)大致相同。隱帶上邊和下邊角度(圖 3-9-h、3-9-i) 皆為越靠近蛛網內圈，角度增加，但上下邊角度(圖 3-9-g)則不同。四邊隱帶長度(圖 5-9-b)以左下最長，右上最少，至於四邊隱帶間夾角角度(圖 3-9-c)大致相同，且相加後為 357 度，幾乎成正圓，證明隱帶絲線上邊長與下邊長呈現平行的狀態。

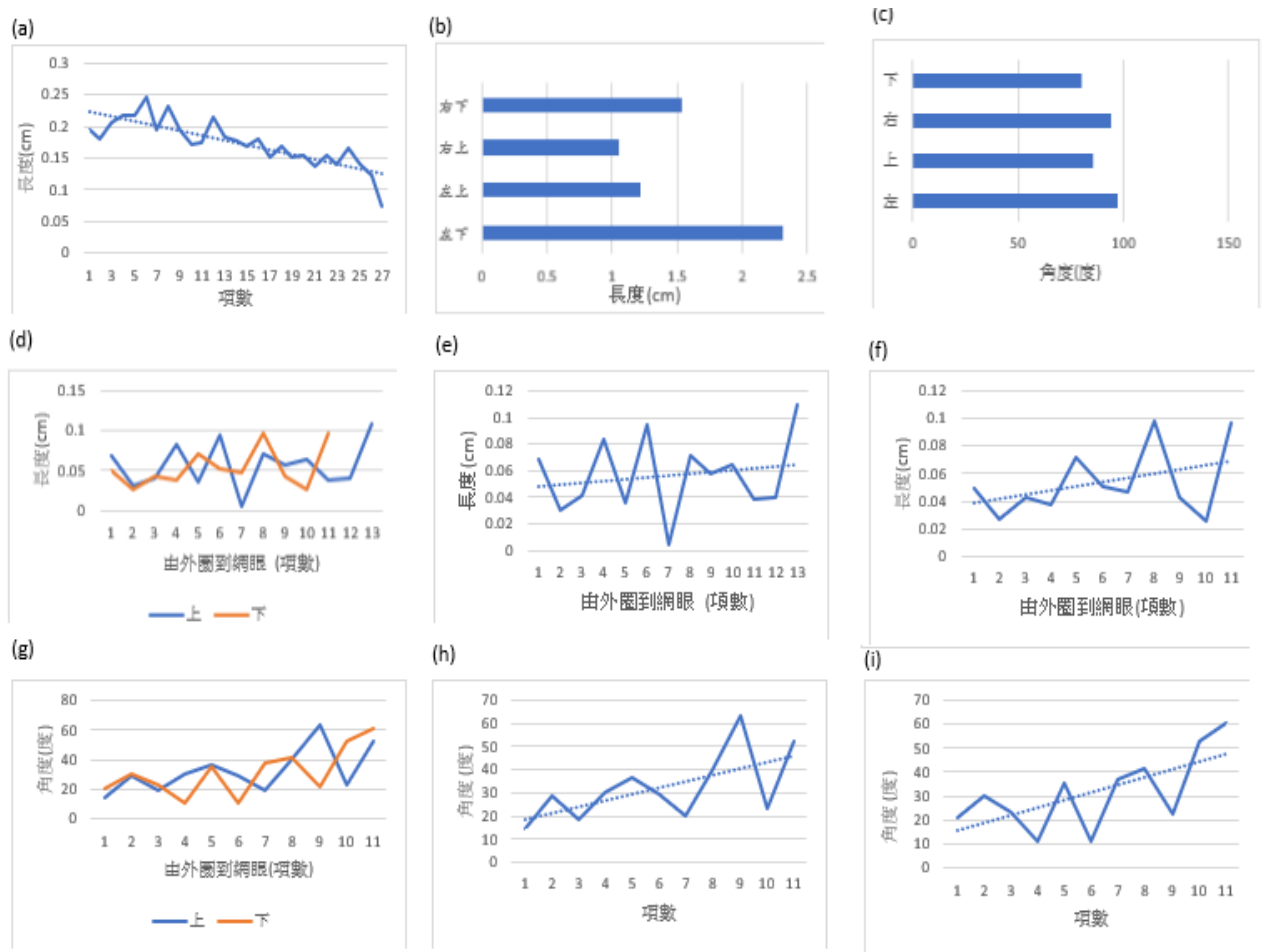



圖 3-9 隱帶的各種資料

(a)左上隱帶斜線長度 (b)四邊隱帶總長度 (c)四邊隱帶間夾角角度 (d)左上隱帶絲線間距  
 長度(e)左上隱帶上邊絲線間長度 (f) 左上隱帶下邊絲線間長度 (g)左上隱帶絲線角度  
 (h)左上隱帶上邊絲線間角度(i) 左上隱帶下邊絲線間角度



## 2. Tinkercad 模型與隱帶照片之結構分析

A1 中型金蛛會在兩條縱絲間以交叉方式結疏隱帶。靠近網眼處的四條絲線平行，在較靠近外圈橫絲的隱帶會用>的形狀連結隱帶(下頁圖 3-10-a)。而 A2 金蛛的隱帶角度較平均，約 43 度，越靠近網眼的角度愈小。橫圈第一條絲線較寬，為其他絲線寬度的兩倍(圖 3-10-b)。觀察 A3 金蛛則為疏隱帶，但較 A1、A2 密集。橫圈的第一條絲線與 A2 的形狀類似，都是第一條絲線較寬。A3 隱帶其他隱帶不同之處：在一條條絲線的連接點上，可觀察到一條類似輔助連接功能的線 , 推測其可使隱帶連接更堅固(圖 3-10-c)。

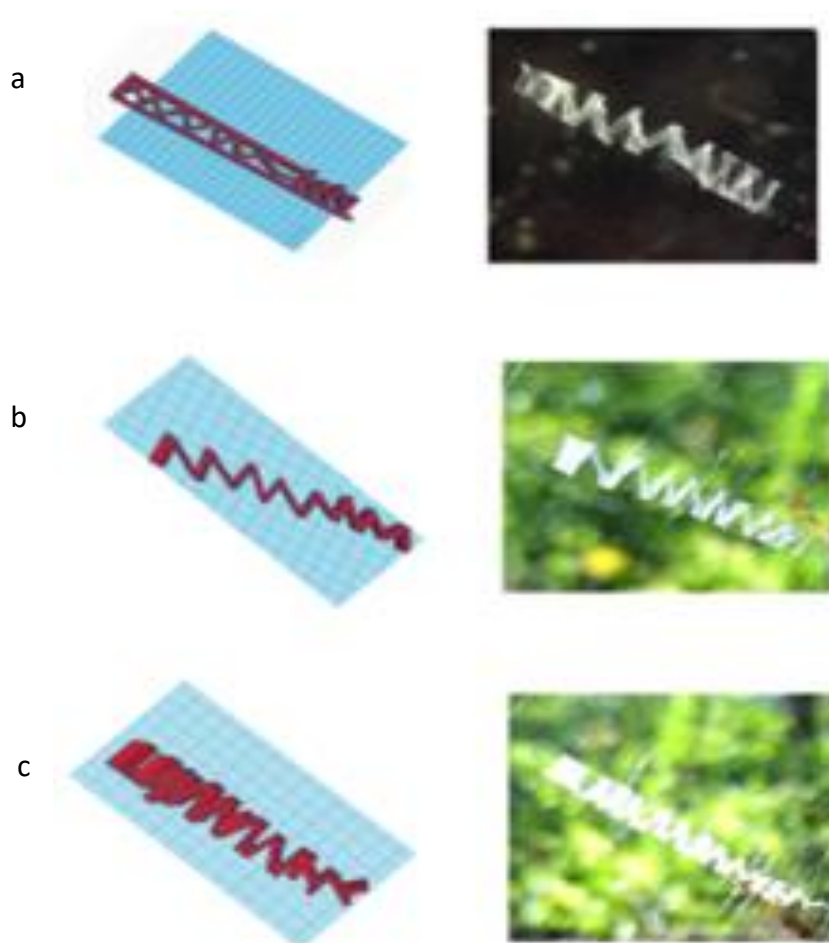


圖 3-10 Tinkercad 模型圖。使用量測之數據繪製的等比例圖。

(a)、(b)、(c)分別為 A1、A2 和 A3 中型金蛛所結的隱帶




## 3. 隱帶疏密程度定義

經過統計及測量後，密隱帶的平均為 88.5%，疏隱帶為 60.5%，而密隱帶及疏隱帶的平均為 74.5%。因此，取四分位數的 81.5%和 67.5%當作分界，定義當隱帶絲線比例  $> 81.5\%$  時為密隱帶，而  $< 67.5\%$  時為疏隱帶，位於  $67.5\% \sim 81.5\%$  則歸類為模糊地帶。

#### 4. 隱帶顯微結構觀察

- (1) 疏隱帶 A：相較於其他的疏隱帶，疏 A(圖 3-11-a)的絲線是最細的，發現隱帶旁邊有兩條絲線，金蛛所織的隱帶會剛好連接旁邊的絲線。除此之外，在每條絲線之間可以看見相連的幾何圖形，尖端互相接連，形成有規律的隱帶。(圖 3-11-a)
- (2) 疏隱帶 B：可以明顯看出疏 B 圖(圖 3-11-b)每條隱帶的絲線的相較於疏 A 為粗，但絲線間的寬度並不規律，約有四分之一是較細的絲線。而隱帶頭尾的絲線較粗，與疏 A 的相連幾何圖形相比，疏 B 的絲線間成不規則圖形。除此之外，形狀也不盡相同，疏 A 是從左上斜到右下，而疏 B 則是從右上斜到左下。同樣的是，疏 A 及疏 B 皆有兩旁支撐隱帶的絲線。
- (3) 疏隱帶 C：在疏隱帶中，疏 C(圖 3-11-c)的單條絲線是最粗的，且可以明顯的看出兩旁支撐隱帶的絲線，隱帶的前端空隙也呈現相連的幾何圖形。
- (4) 密隱帶 A：觀察發現此種隱帶在靠近網眼處的絲線會更密集、面積更大(圖 3-11-d)；從網眼延伸出去的四條絲線的形狀都接近直線。而且密隱帶無法像疏隱帶清晰的看到織隱帶的順序及方法。此隱帶形狀為密隱帶常見的  $\times$  形，且一長一短。
- (5) 密隱帶 B：在密隱帶中，密隱帶 B 的絲線是最粗而且面積最廣的(圖 3-11-e)。從網眼延伸出去的四條絲線中左上角的絲線是最長的，而且右下的隱帶在尾端的時候與密 A 不同，寬度漸漸變窄。與疏隱帶 A(圖 3-11-a)形狀相似。
- (6) 密隱帶 C：此隱帶的絲線是密隱帶裡最細的，形狀也跟其他密隱帶較不一樣(圖 3-11-f)。其右上角的絲線是最長的，左下角的絲線特別短，右下的絲線也不是直線型，而是類似 L 型，角度將近 90 度。與其他密

隱帶相同處靠近網眼的絲線都較為密集，往外延伸的絲線都較細長。

- (7) 在疏隱帶的顯微照片中，可以很清楚的看到蜘蛛織隱帶的順序是先織單條絲線 ，再連到另一邊與下一條絲線黏起來 。而疏隱帶相較密隱帶的結構較為清楚，多為直線型。隱帶之間的面積類似四邊形，間隙較密隱帶大。而密隱帶的結構較為緊密，無法清晰地看出織隱帶的方法，但可觀察到與疏隱帶的每條絲線相黏不同。密隱帶的形狀多為 ，中心網眼——金蛛棲息處的隱帶較密集，往四邊延伸，金蛛足部放置區域的隱帶較細長。

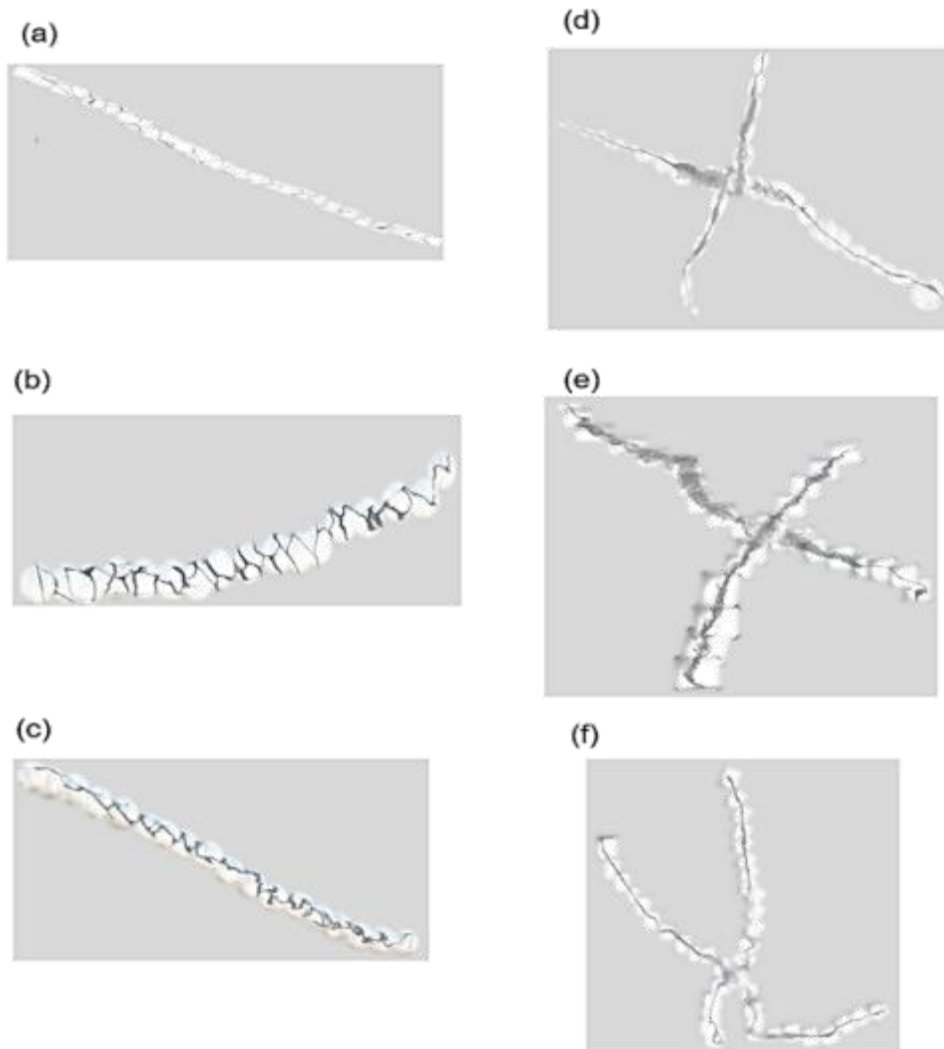


圖 3-11 隱帶顯微結構觀察：(a)、(b)、(c)為三種不同的疏隱帶  
(d)、(e)、(f)為三種不同的密隱帶

(三)探究具有隱帶的仿生金蛛網與不具隱帶的仿生金蛛網其模態振型

1. 探討蛛網結構

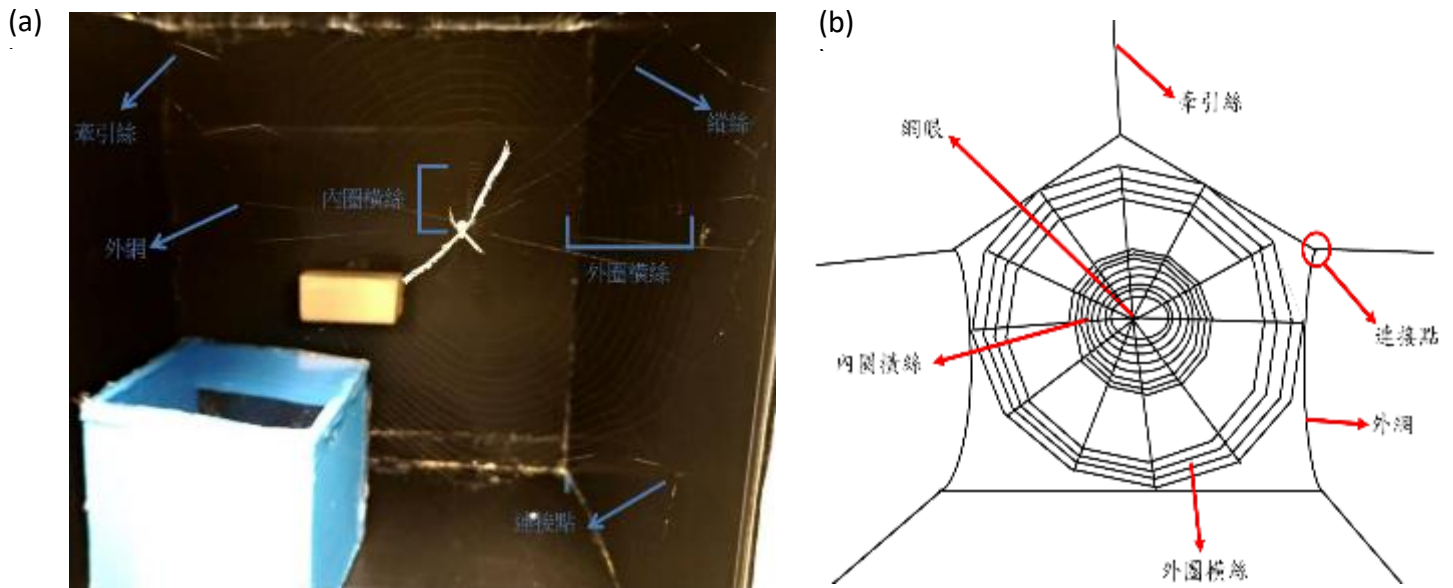


圖 3-12 蛛網結構：(a) 真實蛛網 (b) 手繪蛛網結構

研究中將蛛網分為內圈橫絲、外圈橫絲、縱絲、外網、連接點及牽引絲。定義外網為牽引絲之間牽連的絲線，而連接點則是外網與牽引絲的連接處。

2. 測量蛛絲直徑

表 3-2 各部位蛛絲直徑平均表

蛛絲種類	牽引絲	外網	外圈橫絲	內圈橫絲	縱絲
直徑( $\mu\text{m}$ )	15.70	9.67	6.57	3.60	4.46

從上表(表 3-2)可看出各部位的蛛絲直徑皆不同，最大的為牽引絲，最小的則是內圈橫絲，亦可得知，越靠近網中心，蛛絲直徑就越小。而因縱絲分布全網，故不列入討論。

### 3. 探討仿生隱帶對仿生金蛛網振動影響

#### (1) 模擬風吹吹拂仿生網振動

在拍攝時，分別從正面與側面錄影，觀察蛛網 XY 軸及 Z 軸的振動情形。在模擬風吹部分，使用正面錄影的 XY 軸分析，且以各質點的平均振幅、x-t 圖的振動情況及不同材質仿生網的振幅比較進行分析。(圖 3-13、3-14、3-15)

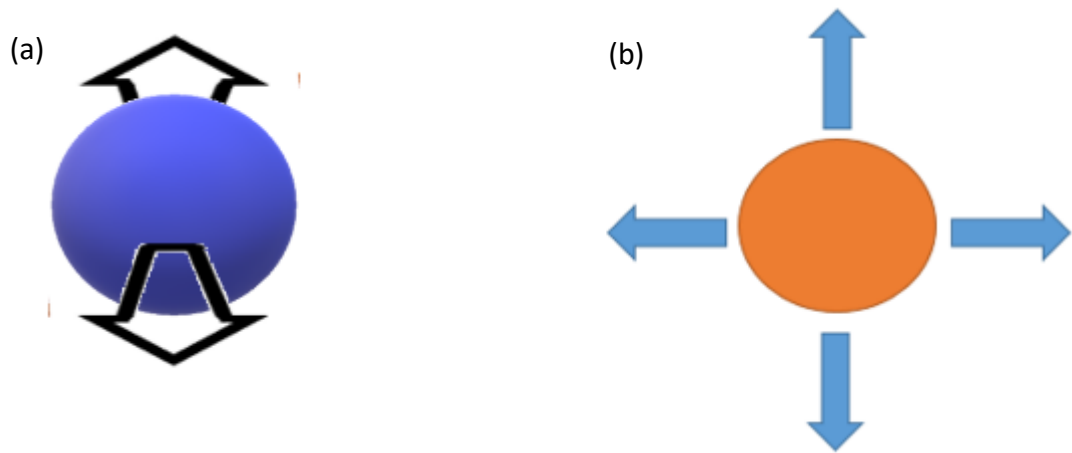


圖 3-13 拍攝網面振動情況：(a) Z 軸振動情況 (b) XY 軸振動情況

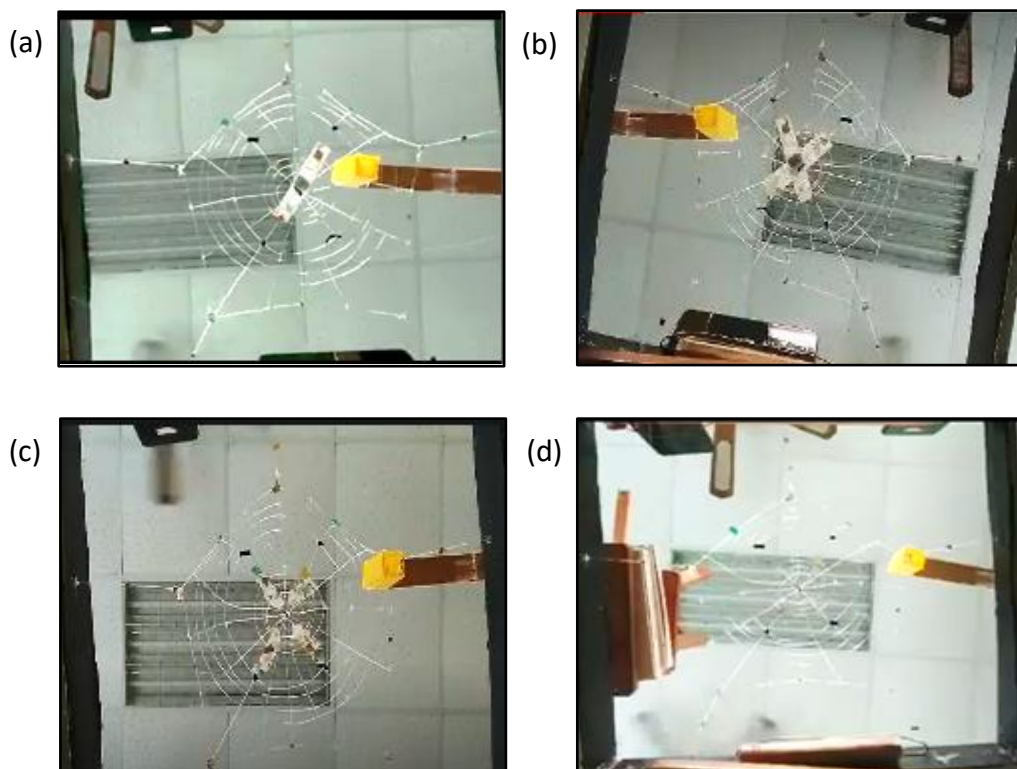


圖 3-14 釣魚線隱帶仿生網撞擊連接點正拍 (a) 密直線型隱帶 (b) 密十字型隱帶  
(c) 疏十字型隱帶 (d) 無隱帶

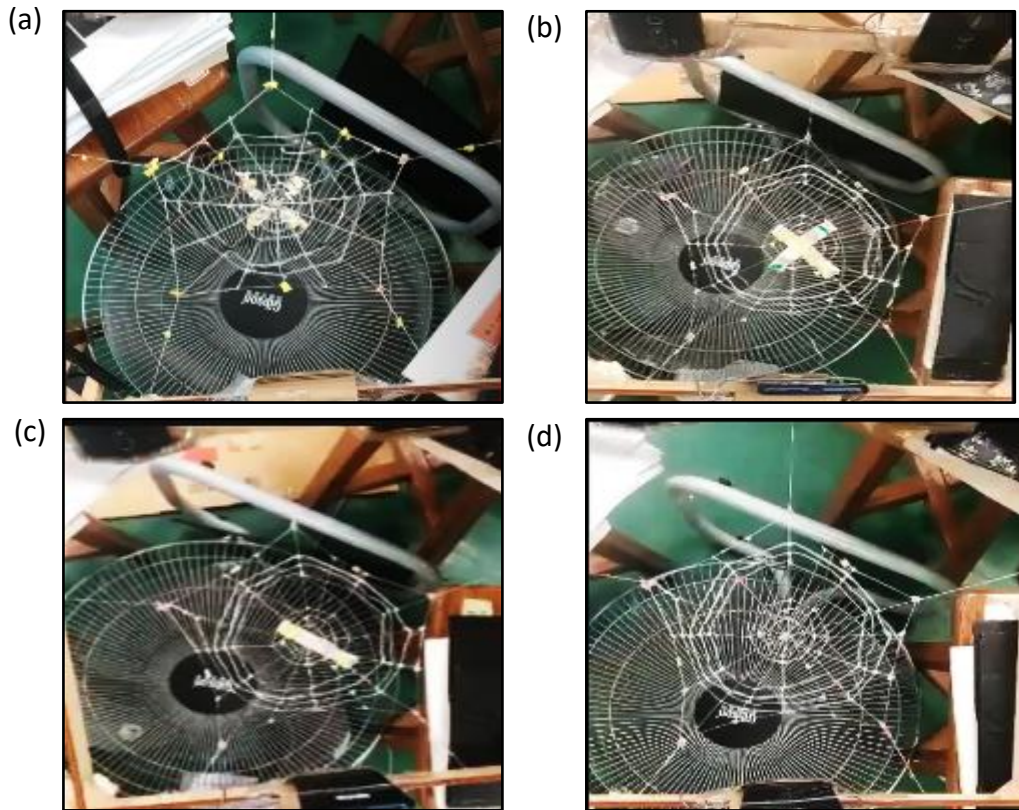


圖 3-15 蠶絲隱帶仿生網撞擊連接點正拍：(a)疏十字型隱帶 (b)密十字型隱帶  
(c)密直線型隱帶 (d)無隱帶

實驗中使用了三種仿生隱帶，分別為疏十字型隱帶、密十字型隱帶及密直線型隱帶，因形狀差異其放置於網面的位置也不盡相同。(圖 3-16)

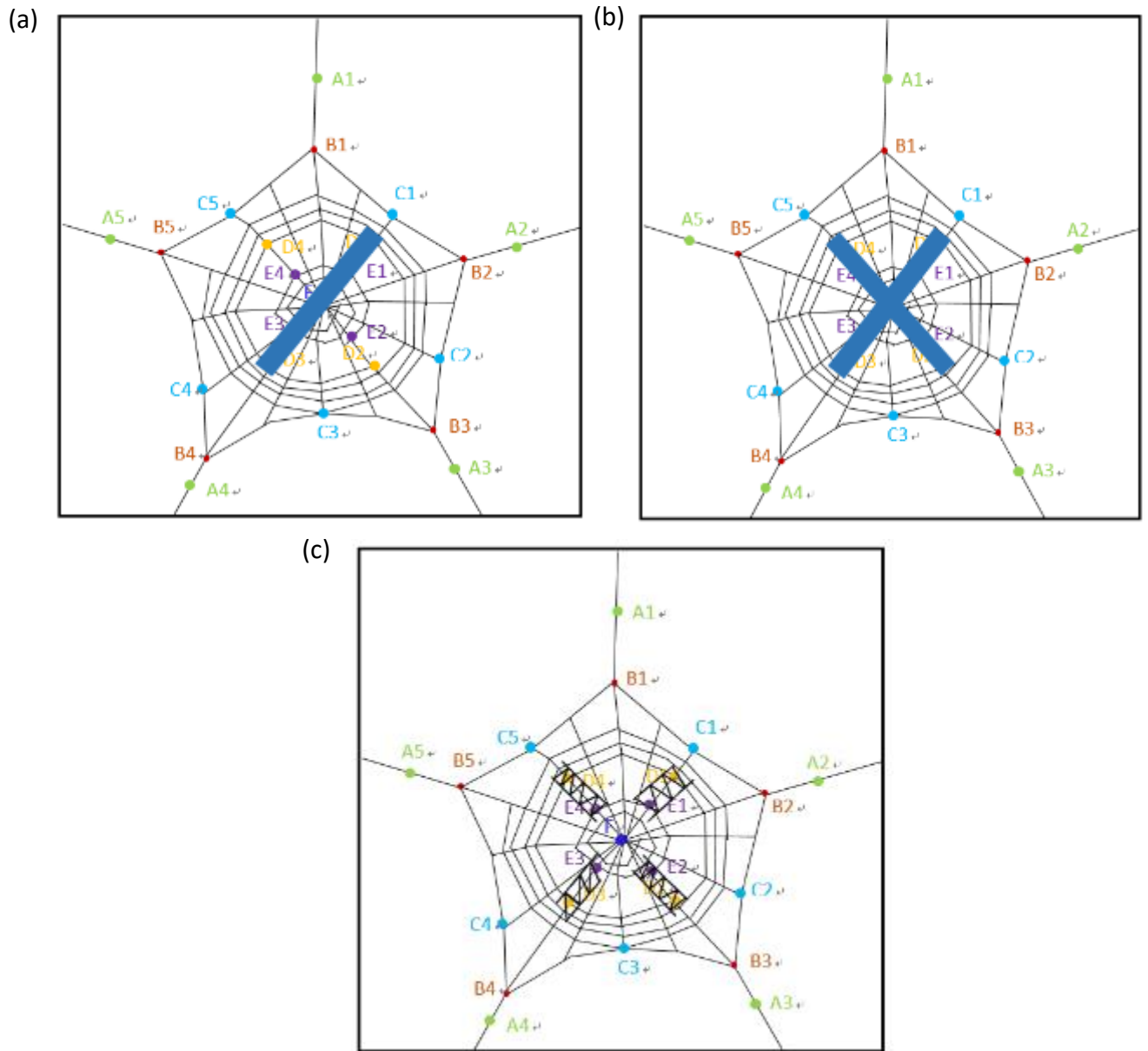


圖 3-16 仿生隱帶在網面上放置位置：(a) 密直線型隱帶 (b) 密十字型隱帶  
(c) 疏十字型隱帶

(a) 比較不同質點平均振幅

為了比較不同質點在穩定的風速吹拂下承受振動的能力，將不同質點 30 秒間的振動平均並比較。

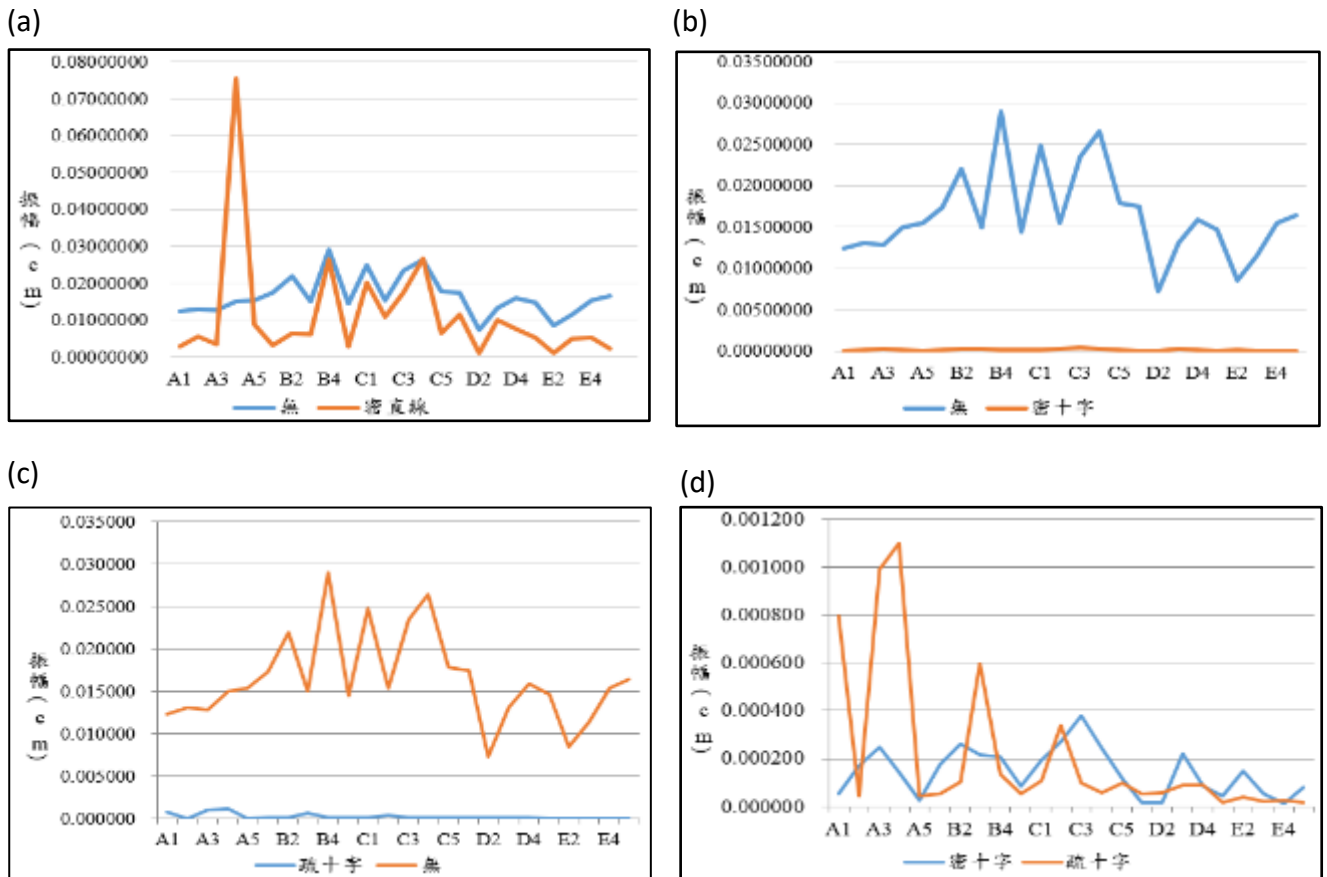


圖 3-17 模擬風吹仿生釣魚線網平均振幅圖：

- (a) 密直線型隱帶與無隱帶 (b) 密十字型隱帶與無隱帶  
(c) 疏十字型與無隱帶 (d) 疏十字型隱帶及密隱帶

觀察密直線型隱帶及無隱帶的風吹平均振幅圖(圖 3-17-a)，除了密直線型隱帶的 A4 振幅特別高之外，其餘振幅皆相似，且密直線型隱帶的整體振幅大多小於無隱帶。而觀察密十字型隱帶與無隱帶的風吹平均振幅圖(圖 3-18-b)，無隱帶的整體振幅遠高於密十字型隱帶，且無隱帶振幅較高的皆集中於質點 B、C 區。在疏十字型隱帶與無隱帶的風吹平均振幅圖中(圖 3-19-c)，無隱帶的整體振幅遠高於疏十字型隱帶。從密十字與疏十字的風吹平均振幅圖(圖 5-14-d)可得知，疏十字型隱帶網外圍的質點振幅大於密十字型隱帶，而偏內部的質點則相反。



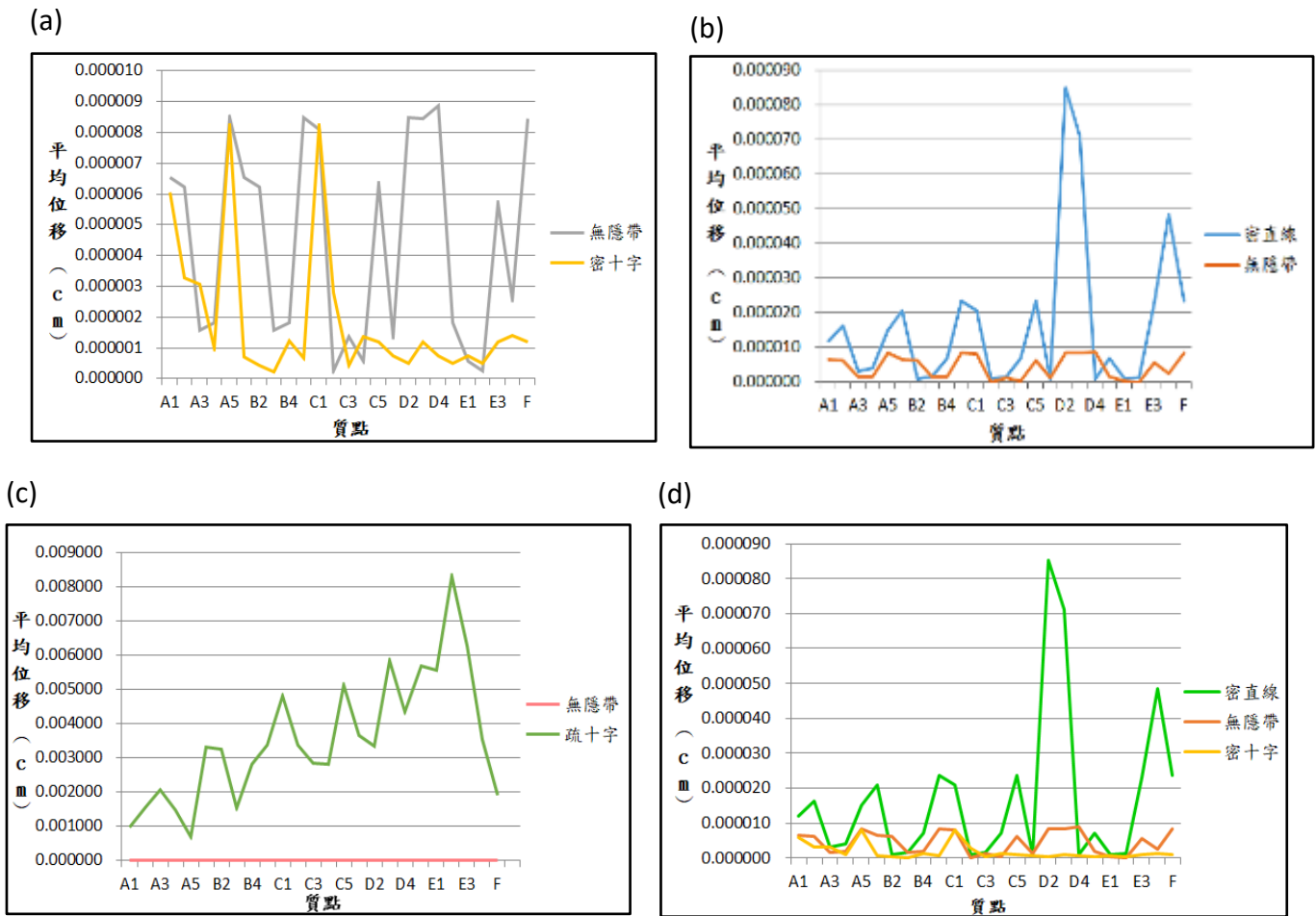


圖 3-18 模擬風吹仿生蠶絲網平均振幅圖：(a) 十字型密隱帶與無隱帶 (b) 直線型密隱帶與無隱帶 (c) 十字型疏隱帶與無隱帶 (d) 十字型密隱帶、直線型隱帶及十字型疏隱帶

從密十字型隱帶和無隱帶的平均振幅折線圖(圖 3-18-a)，可得知密十字型隱帶的兩個高峰之質點和峰值恰與無隱帶相符，且密十字型隱帶的振幅大多比較小，可以減少振幅。觀察密直線型隱帶和無隱帶的平均振幅折線圖(圖 3-18-b)，可發現除密直線型隱帶 D2 振幅較大，兩種隱帶振幅高峰與低峰起伏圖形相似，且密直線型隱帶的振幅多大於無隱帶，密直線型隱帶使振動幅度更大，不能減少振幅。至於疏十字型隱帶和無隱帶的平均振幅折線圖(圖 3-18-c)，可發現疏十字型隱帶振幅遠高於無隱帶，且疏十字型隱帶振幅平均由內而外有漸漸變大的趨勢。在密十字型、密直線型隱帶和無隱帶的平均振幅折線圖(圖 3-18-d)，因疏十字型隱帶因振幅過大，使其他隱帶的振幅變化不明顯，故沒有放在一起比較。圖中(圖 3-18-d)可看出密十字型隱帶和無隱帶的高低峰起伏、峰值大小相似，密直線型隱帶的高低起伏和其他兩者相似，但其峰值較大。

綜合上述結果可得知隱帶間不同質點的平均振幅之起伏高峰較相近，僅有振幅大小之別。蠶絲網面中疏十字型隱帶的平均振幅較大，而兩種網面下密十字型隱帶振幅皆較無隱帶小。

(b) 振動情形 x-t 圖

為了觀察仿生隱帶對於仿生網在不同時間裡的振動情況，並取 B1 質點做為代表。

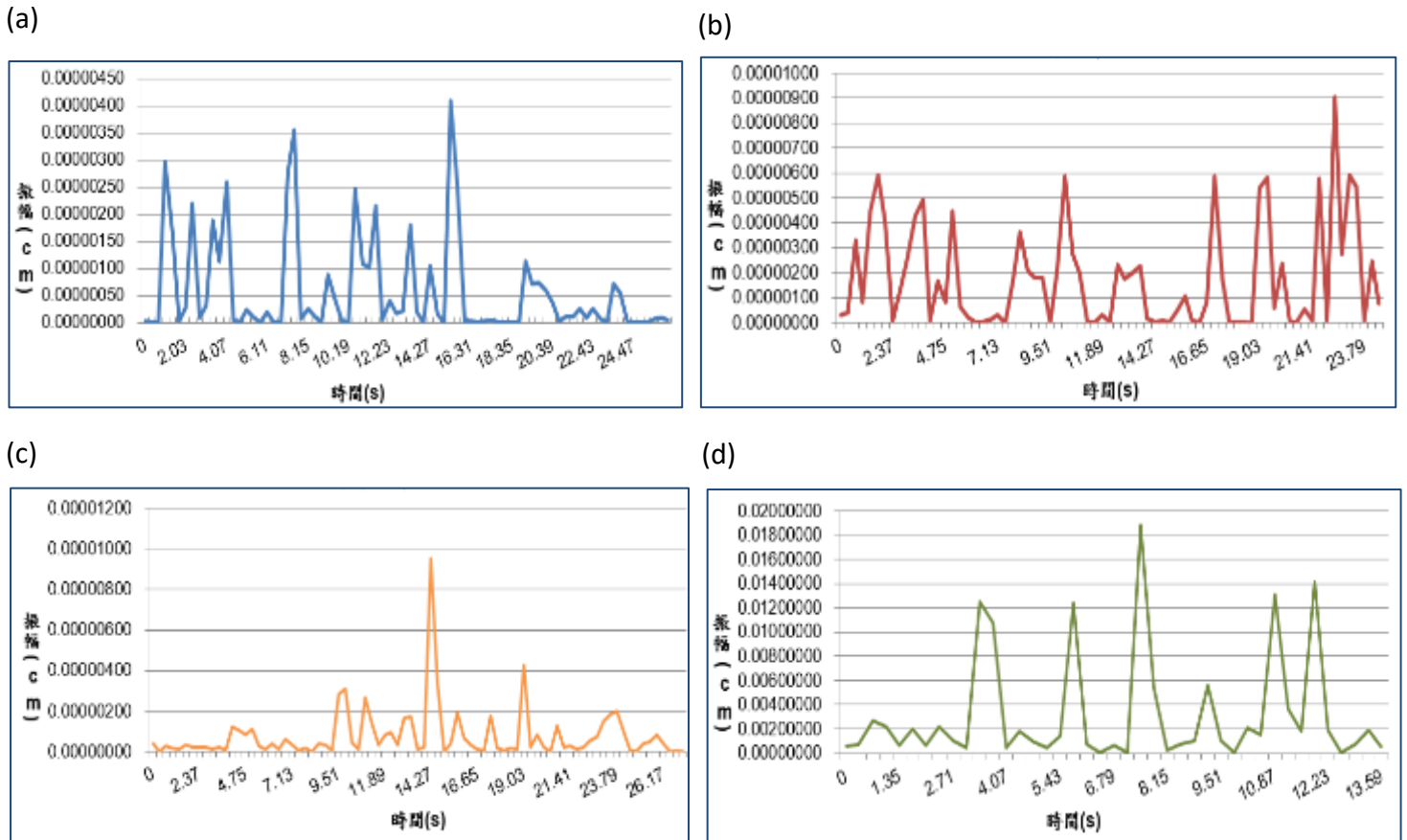
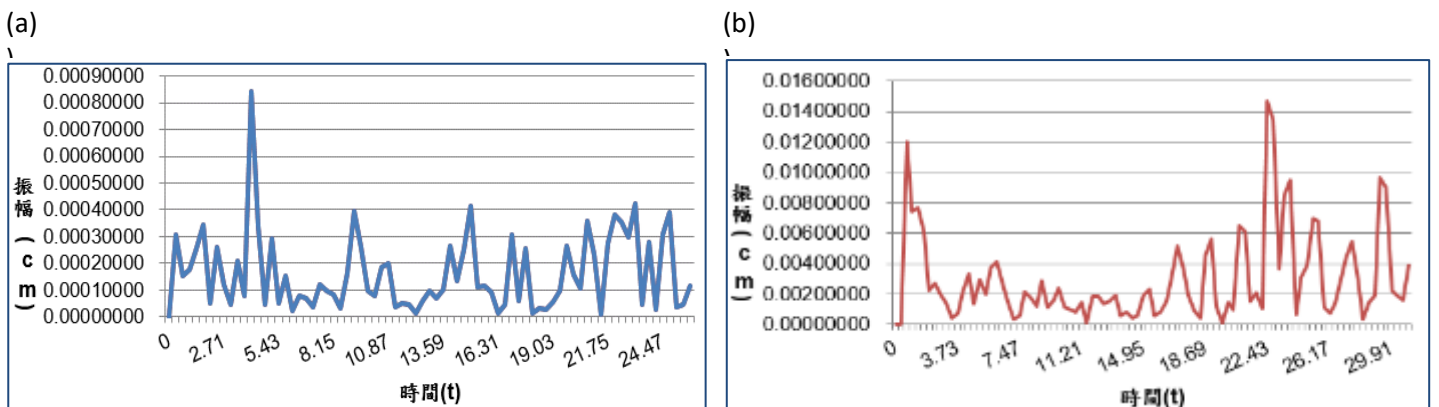


圖 3-19 模擬風吹仿生蠶絲網振動 x-t 圖：(a) 無隱帶 (b) 密直線型隱帶 (c) 密十字型隱帶 (d) 疏直線型隱帶



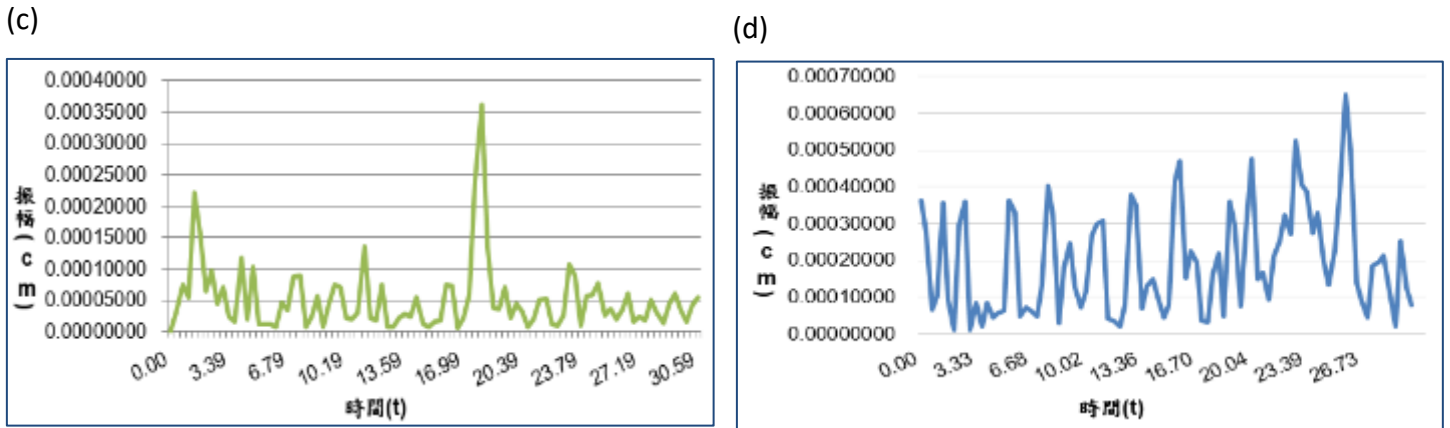


圖 3-20 模擬風吹仿生釣魚線網振動 x-t 圖：(a) 無隱帶 (b) 密直線型隱帶 (c) 密十字型隱帶 (d) 疏直線型隱帶

模擬風吹撞擊因為在 30 秒鐘皆以穩定的風速吹拂網面，故振幅並無太大的起伏

(c) 比較釣魚線仿生網與蠶絲仿生網

實驗中使用釣魚線與蠶絲兩種材質製作仿生網，為比較兩種仿生網對於減少振幅的效果，故選用位於連接牽引絲和整個網面的連接點做為代表，並統計兩種材質仿生網 B1~B5 質點中，振幅較大的數量及所占總數的比例，藉此看出釣魚線與蠶絲仿生網承受振幅的情況。

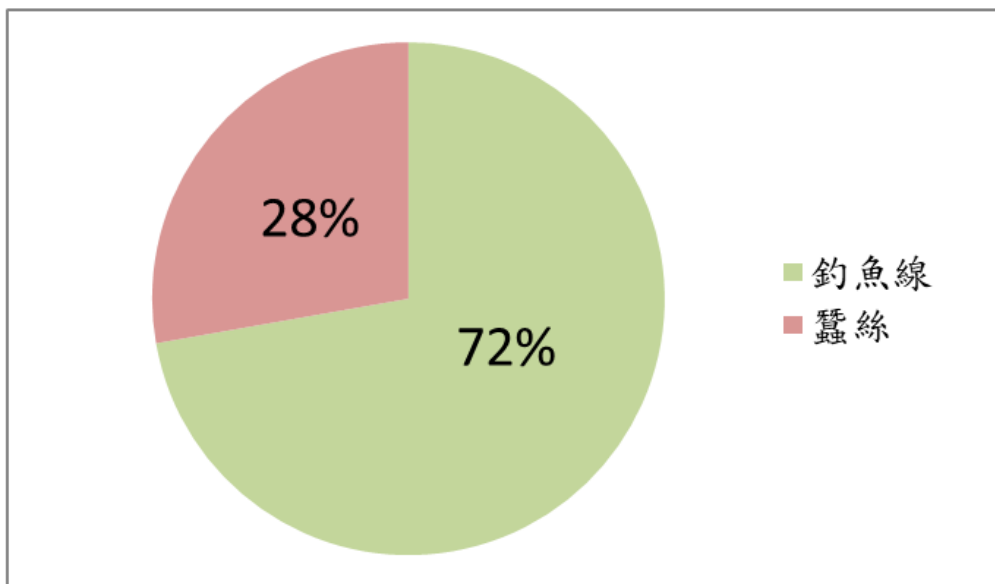


圖 3-21 模擬風吹釣魚線與蠶絲仿生網振幅較大所占比例：N=18

從風吹的蠶絲和釣魚線之平均振幅較大者之百分比圖可以看出釣魚線的振幅較蠶絲大者明顯較多，占了將近 3/4。

## (2) 模擬獵物撞擊仿生網振動

在拍攝時，分別從正面與側面錄影，觀察蛛網 XY 軸及 Z 軸的振動情形。在模擬獵物撞擊部分，使用側面錄影的 Z 軸分析，且以各質點的最大振幅、x-t 圖的振動情況、不同材質仿生網的振幅進行分析。

### (a) 比較不同質點最大振幅

為比較不同質點能夠承受撞擊的程度，以 B1~B5 質點做為代表，分析不同仿生隱帶及撞擊點對於穩固蛛網的效果。

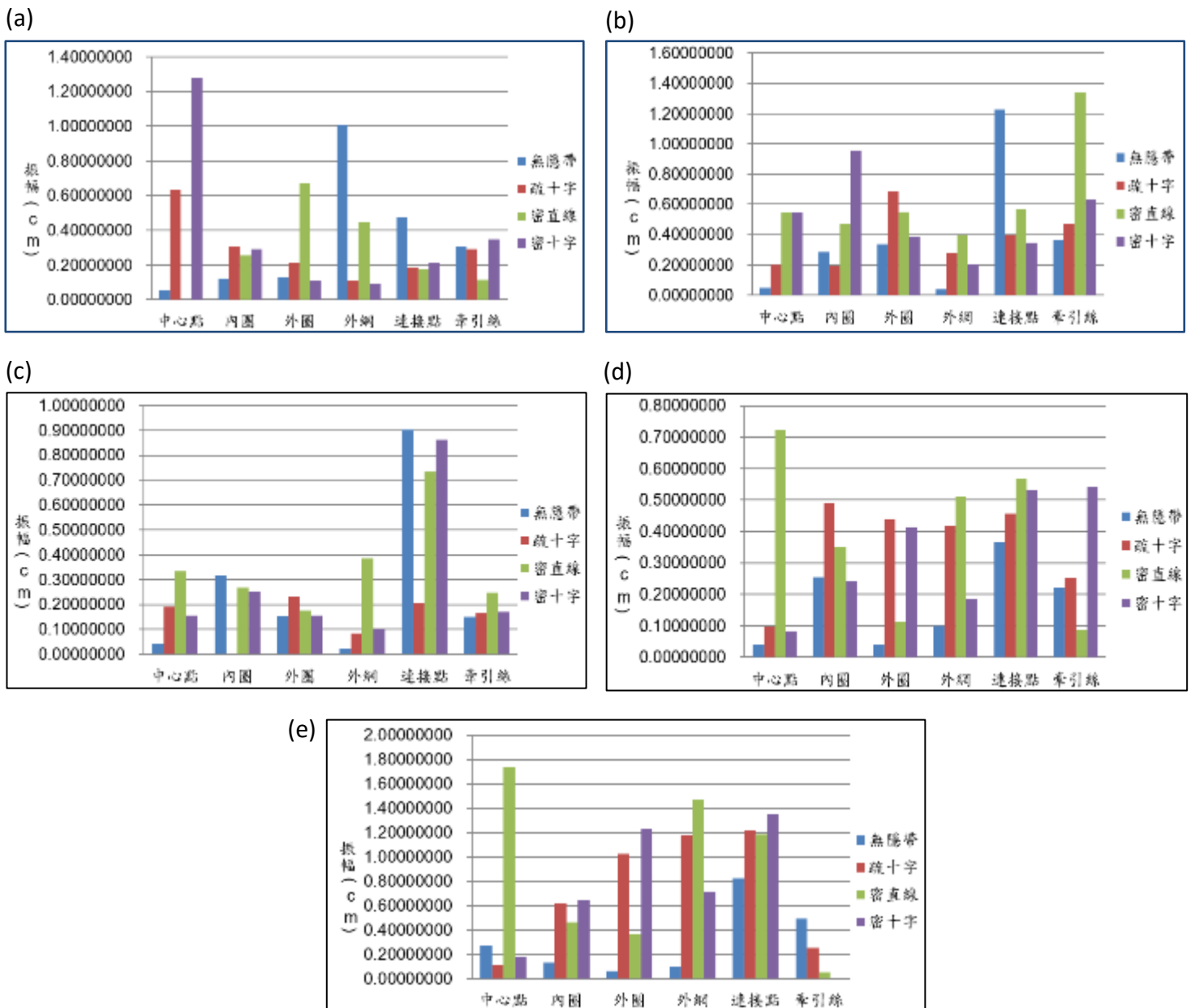


圖 3-22 模擬獵物撞擊仿生釣魚線網振動最大振幅圖：(a) B1 (b) B2 (c) B3 (d) B4 (e) B5，橫軸為撞擊點

觀察 B1~B5 質點(圖 3-22)，大多有隱帶的網面振幅不論在撞擊任何質點下，都較無隱帶的大；從 B1 質點觀察，撞擊在隱帶附近的中心點、內圈橫絲及外圈橫絲，有隱帶的振幅皆較無隱帶大，而撞擊於其他地方則振幅較無隱帶小；從 B2 質點觀察，除了撞擊於連接點外，撞擊在任何質點上，有隱帶的振幅皆較無隱帶大；從 B3 質點觀察，除了撞擊於連接點外，撞擊於其他部位的振幅皆大於或差不多等於無隱帶；從 B4 質點觀察，幾乎全部的撞擊點，有隱帶的振幅皆較無隱帶大；從 B5 質點觀察，除了撞擊牽引絲外，有隱帶的振幅皆較無隱帶大。

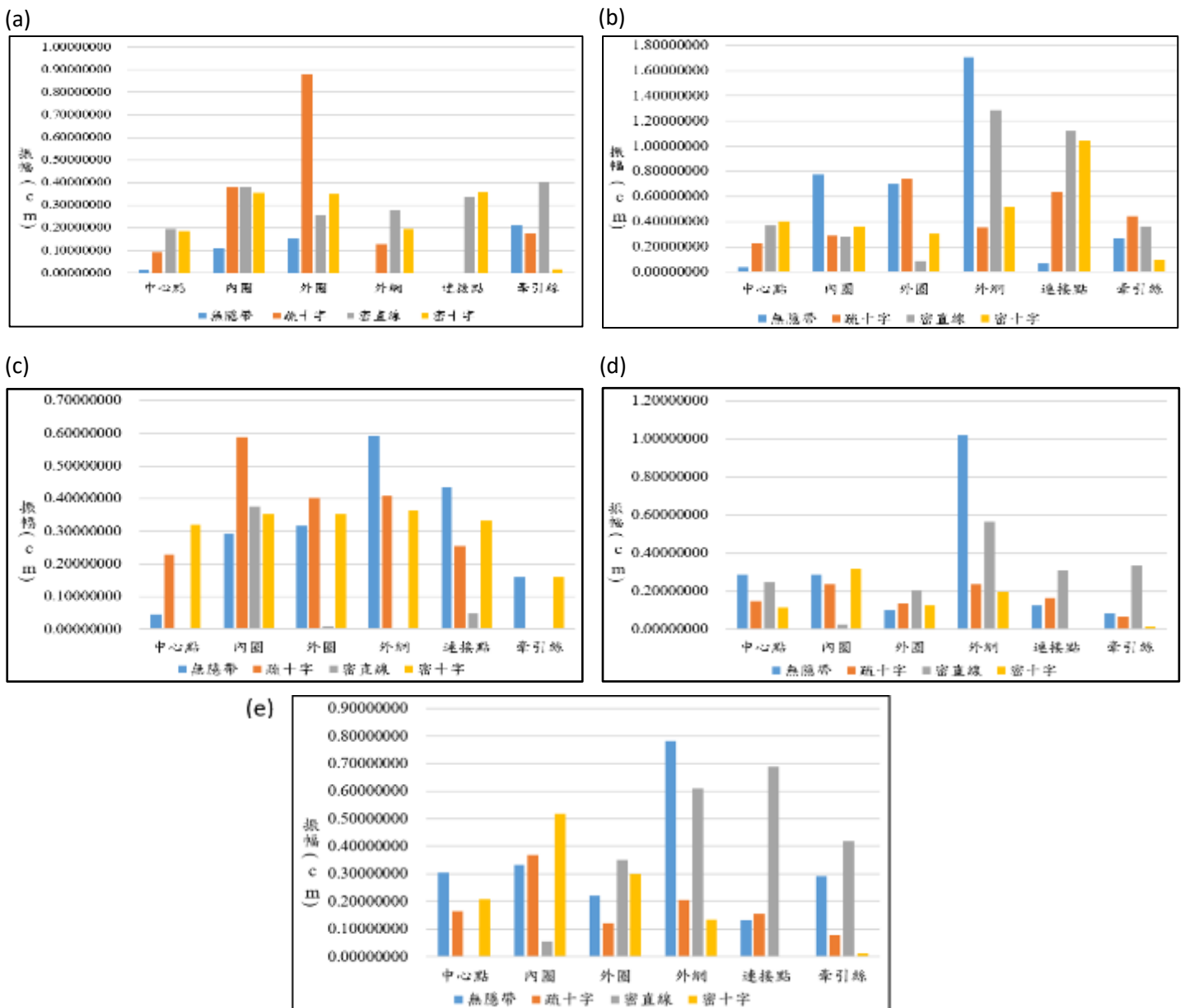


圖 3-23 模擬獵物撞擊仿生蠶絲網振動最大振幅圖：(a) B1 (b) B2 (c) B3 (d) B4 (e) B5，橫軸為撞擊點

觀察 B1~B5 質點(圖 3-23)，在有隱帶的網面下，振幅變高或邊低並無顯著規律；從 B1 質點觀察，在不同撞擊點下，有隱帶振幅無明顯規律大於或小於無隱帶；從 B2 質點觀察，在不同撞擊點下，有隱帶的振幅無明顯規律大於或小於無隱帶；從 B3 質點觀察，在不同撞擊點下，有隱帶的振幅也無明顯規律大於或小於無隱帶；從 B4 質點觀察，在不同撞擊點下，有隱帶的振幅無明顯規律大於或小於無隱帶；至於從 B5 質點觀察，在不同撞擊點下，有隱帶的振幅無明顯規律大於或小於無隱帶。

(b) 振動情形 x-t 圖

為了觀察仿生隱帶對於仿生網在不同時間裡的振動情況，並取 B1 質點做為代表。

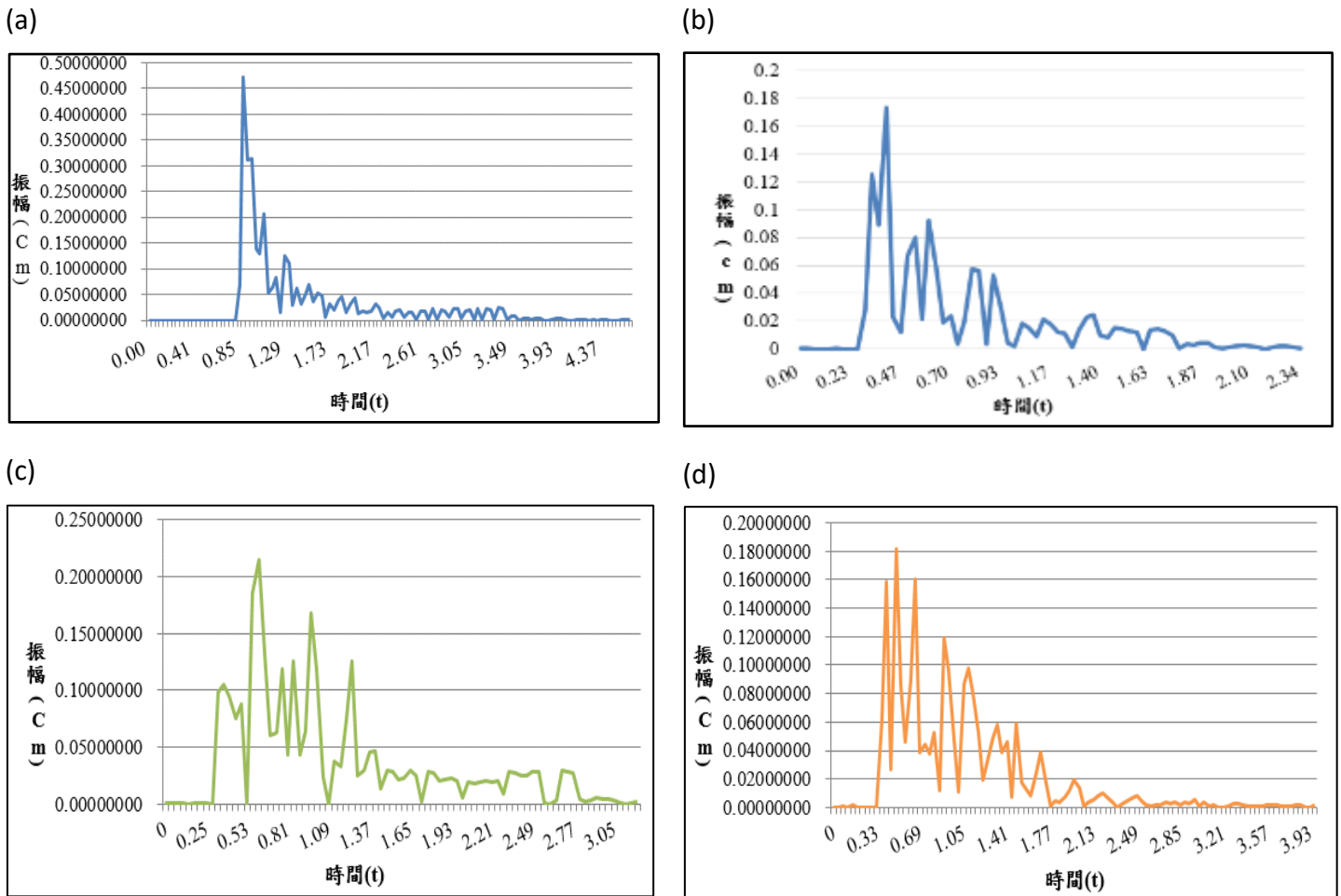


圖 3-24 模擬撞擊仿生釣魚線網振動 x-t 圖：(a) 無隱帶 (b) 直線型密隱帶 (c) 十字型密隱帶 (d) 十字型疏隱帶

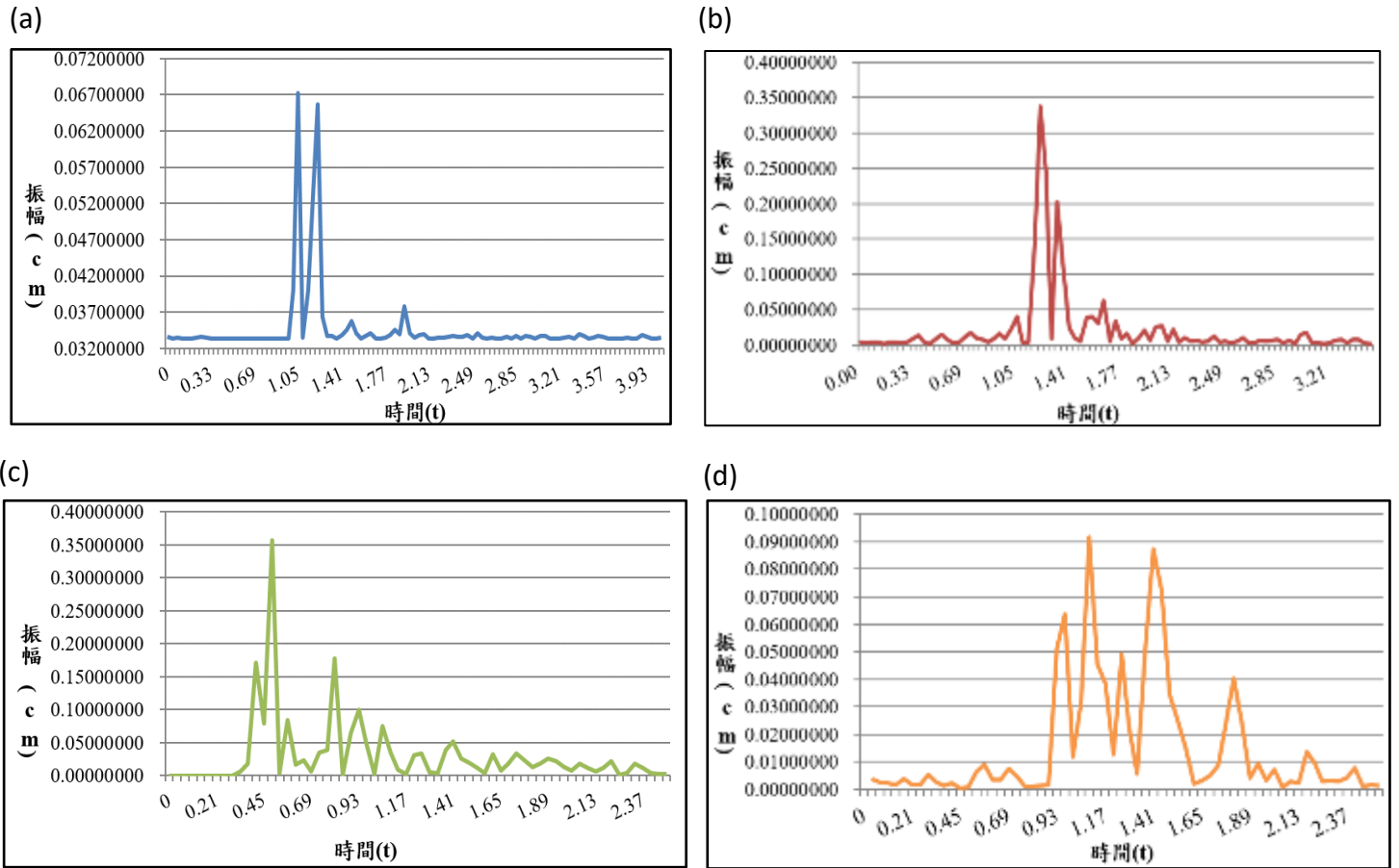


圖 3-25 模擬撞擊仿生蠶絲網振動 x-t 圖：(a) 無隱帶 (b) 直線型密隱帶 (c) 十字型密隱帶 (d) 十字型疏隱帶

模擬風吹撞擊與模擬獵物撞擊因撞擊方式不同而 x-t 振幅有所差異。在模擬獵物撞擊的部分，因獵物撞擊時網面承受的力較大，振幅會瞬間變大，接著能量漸漸消散後，振幅也會減緩。

(c) 比較釣魚線仿生網與蠶絲仿生網

實驗中使用釣魚線與蠶絲兩種材質製作仿生網，為比較兩種仿生網對於減少振幅的效果，統計兩種材質仿生網 B1~B5 質點中，振幅較大的數量及所占總數的比例(N=111)，藉此看出釣魚線與蠶絲仿生網承受振幅的情況。

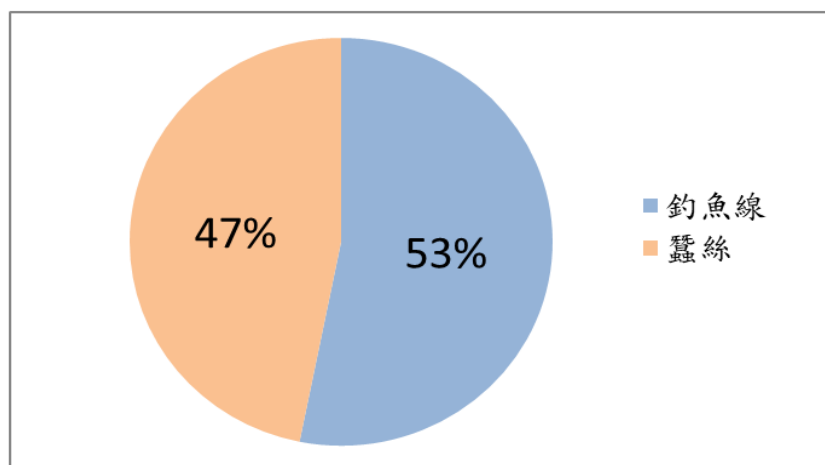


圖 3-26 模擬獵物撞擊釣魚線與蠶絲仿生網振幅較大所占比例：N=111

依百分比看出釣魚線比蠶絲振幅大者較多一些，但兩者的占比接近各半，無法看出明顯差距。

## 二、討論

### (一)探討校園金蛛分布與棲息環境之間的相關性




1. 從實驗數據分析發現，在 3 樓右窗出現的隱帶數量及種類遠高於其他金蛛分布的地點，推測可能是跟周遭環境的亮度及風速有關聯，且發現部份金蛛周遭並無植被，較常在具有玻璃的窗戶上結網，與以往野生環境的金蛛背景不同。玻璃會反射太陽光，而從文獻中發現金蛛的隱帶也擁有反射太陽光、吸引獵物及模糊掠食者的能力。有反射功能的背景環境，是否為校園中型及長圓金蛛之所以選擇在窗戶外結網的主因，這是未來想探究的問題。研究中觀察到，當環境照度及風速較高時，隱帶形狀會有較多變化，但在野外環境中並無如此規律，推測是生活環境及植被的差異所造成。
2. 在環境與隱帶的相關性中，大部分環境因素對隱帶長度的關係性都偏低。但在長圓金蛛及中型金蛛氣壓與隱帶長相關性中，中型金蛛在隱帶較長時氣壓較高，長圓金蛛則恰好相反，推測是因不同種類的蜘蛛所能適應的氣壓不同，造成相關性結果不同，兩者相關性皆高。
3. 研究中的分布調查是從 2019.9 到 2020.5，經歷了秋天、冬天及春天。2020 年的冬天比往年的氣溫都還要來的高，因此在 2019.11-12 時金蛛的數量不僅沒有變少，反而增加。雖然在一月的時候金蛛數量大幅減少，



推測是因為寒流來襲，氣溫迅速下降，導致金蛛數量驟減，在 2020.5 時雖金蛛數量有上升趨勢，但仍較十二月時少，因此我們推論是氣溫影響了蜘蛛在不同季節的總數。

4. 研究中發現隱帶的形狀分為疏、密及花瓣型，但花瓣型隱帶的結構與疏及密隱帶不同，故無針對此部分研究。觀察之後發現 T 型隱帶僅有疏隱帶，Y 型、彎曲型隱帶僅有密隱帶。推測是因 T 型及 Y 型隱帶皆為其他隱帶的變形；T 型應是疏十字型隱帶四邊的變形，因其中間並無絲線連接，密十字型隱帶則是四邊皆相連，故 T 型隱帶僅有疏隱帶。而 Y 型隱帶則是由尚未結完的密十字型隱帶變形而來，與 T 型隱帶相同，推測是因密十字型隱帶中間具有連接，故僅有密隱帶。但彎曲型隱帶只有密隱帶的原因目前無法推測，也成了我們未來極力探究的部分。

## (二)研究金蛛隱帶之生態功能

1. 利用計算出來的長度、角度等，製作的模型可以更清楚其結構(圖 5-9)。大致上疏隱帶有三種不同的形狀特徵。從 A1 中型金蛛可以看出第一個特徵是越靠近網眼的隱帶絲線會由  型漸漸轉為 ，根據數據，隱帶絲線角度靠近網眼會趨緩。A2、A3 中型金蛛第二個特徵是外圈的第一條隱帶絲線會特別寬，為其他絲線寬度的兩倍。A3 中型金蛛在線與線中間會觀察到一小條縱向垂直輔助線  幫助連接，在疏隱帶可以看的較清楚。期望能夠統計中型金蛛疏隱帶符合上述特徵的比例，從中找出金蛛結隱帶的規律。
2. 在顯微觀察中發現疏隱帶的形狀及構造較簡單，金蛛會將八隻腳兩兩靠在一起形成四組，接著把四組腳放置隱帶的四邊，雖隱帶可剛好覆蓋住其腳，但卻無法包覆身體，故多為體型較大的金蛛所結，而疏十字型隱帶的絲線長度也會因金蛛腳的差異而結不同長度、角度的隱帶。而根據長期觀察，密十字型隱帶可將蜘蛛的身體完整包覆，可能有減少被天敵捕食的功能；亦可視為蜘蛛體型的延伸，推測可能在視覺上增加面積，把體型放大的功能，希望未來能以實驗加以驗證。

## (三)探究仿生具有隱帶的金蛛網與不具隱帶的金蛛網其模態振型—模擬風吹仿生網

1. 從結果可發現釣魚線仿生網受電風扇吹拂時，密十字型隱帶之各點平均振

幅會小於無隱帶，密十字型隱帶是所有隱帶裡面積最大者，包覆的範圍 D4 E4 的振幅皆為最小，推測密十字型隱帶是因面積多寡而導致其減少振幅效果最小。未來期待可用不同包覆面積的密十字型隱帶研究涵蓋面積與穩固蛛網的關聯性。

2. 蠶絲仿生網在受電風扇吹拂時，疏十字型隱帶的平均振幅遠遠高於其他三者，推測是因其結構缺乏整體連接且疏隱帶的質量導致晃動的幅度加大。中心點(F)無隱帶支撐，振幅卻較低，推測是因為中心點並非受到隱帶穩固而是受到蠶絲絲線，有最多條絲線連接且該部位無隱帶放置，造成中心點振幅小。未來可製造有覆蓋面積包含中心點的疏十字型隱帶，在與相同涵蓋面積的密十字型隱帶比對疏、密隱帶造成之差異。
3. 從(圖 3-18-d)觀察到不同隱帶之平均振幅起伏峰值雖不相近但其波型相似，可能是原始釣魚線仿生網的承受度就各有差異，導致在不同隱帶的平均振幅上去出現相近的結果。
4. 由於目前的疏隱帶與密隱帶是相同結構，僅採用不同形狀與黏貼方式區分。希望未來能依隱帶圖片的結構，仿造出內部結構和製作方法與密隱帶不同的疏隱帶，亦可比較兩種疏隱帶在內部結構迥異的狀況下的平均振幅。
5. 在 x-t 圖中發現各隱帶的振動情形皆是峰值接近，高低夾雜，有可能是因環境的共振影響模擬獵物撞擊和模擬風吹，而自然界本就存在各種振動，所以共振也有可能會是影響結果的因素之一。
6. 從模擬風吹的釣魚線與蠶絲的材質比較，可發現釣魚線仿生網的振幅較大者多，蠶絲風吹平均振幅比釣魚線網大者較少，有可能是因蠶絲的材質本就較輕巧，韌性強，可加速受到撞擊後的能量消散；另一原因也有可能是因釣魚線雖為均勻介質但其質量太大，不符合真實金蛛所織的網面。故後續除可研究蠶絲網的振動模擬，也可進一步與具不同隱帶的真實蛛網比較。

#### 四、探究仿生具有隱帶的金蛛網與不具隱帶的金蛛網其模態振型—模擬獵物撞擊仿生網

1. 推測是因加上隱帶的質量且撞擊部位恰為隱帶涵蓋區域，導致具隱帶的釣魚線仿生網受內部撞擊時的網面振幅較無隱帶的大。當中的例外是釣魚線

- 仿生網撞擊連接點時，連接點(B 質點)之無隱帶大於有隱帶的最大振幅。
2. 觀察獵物撞擊振動情形  $x-t$  圖可發現兩種材質的仿生網，發現兩種材質皆為相同的結果，在蛛網的結構受一次性的撞擊瞬間，振幅會最大，之後隨時間程來回擺動，漸漸減少振幅直到趨近於原始狀態。未來希望除仿生網的最大振幅比較，也可比較受到撞擊之後趨近於原始狀態的時間。
  3. 在獵物撞擊中，釣魚線仿生網的最大振幅中數值較大者與蠶絲仿生網中最大振幅中數值較大者數量大致相同，雖然釣魚線仿生網最大振幅較大者多了 6%，但差異不大，故推斷獵物撞擊受材質影響不大。

## 肆、結論與應用

### 一、結論

#### (一)探討校園金蛛分布與棲息環境之間的相關性

金蛛體長與隱帶長呈正相關，且長圓金蛛與中型金蛛因種類不同隱帶長度受到氣壓的影響相反。

#### (二)研究金蛛隱帶之結構

研究中發現中型金蛛會將八隻腳兩兩靠在一起形成四組，接著把四組腳放在隱帶四邊的上方，故隱帶僅可包覆住足部，亦可視為體型的延伸，推測可能具放大體型的功能，但仍需實驗支持。

#### (三)探究具有隱帶的仿生金蛛網與不具隱帶的仿生金蛛網其模態振型

##### 1.模擬風吹吹拂仿生網面

在模擬風吹吹拂蠶絲網面中，密十字隱帶的網面振幅小於無隱帶，推測是面積多寡而導致其減少振幅效果最佳，而模擬風吹吹拂的釣魚線網面，有隱帶和無隱帶網面的振幅差異不大。受風吹吹拂的仿生網，釣魚線網面的平均振幅相對於蠶絲網面較大，推測是蠶絲的材質較輕巧且韌性強，可加速消散受到撞擊後的能量；另一原因也可能是釣魚線雖為均勻介質但其質量太大，不符合真實金蛛所織的網面。

##### 2.模擬獵物撞擊仿生網面

模擬獵物撞擊釣魚線仿生網的實驗中，撞擊不同部位時，三種隱帶皆無法減少網面振幅；而模擬獵物撞擊蠶絲仿生網的實驗中，加裝三種隱帶的網面下，振幅之高低無規則變化；不論何種隱帶在受撞擊的瞬間，振幅皆最大；仿生網受模擬

獵物撞擊時，材質造成的影響不大。

### 3.歸納隱帶之功能(單位：cm)

表 4-1 中型及長圓金蛛隱帶功能

隱帶種類	平均體長		穩定蛛網 效果	特徵	推測具何種 功能
	長圓	中型			
疏十字型	x	0.90	x	隱帶絲線恰 好在腳上	待研究
密十字型	0.30	0.40	最佳	完整包覆 蜘蛛	1.穩固受風吹拂蛛網 2.幼蛛常結
密直線型	0.32	0.40	x	部分包覆 蜘蛛	保護自身
無隱帶 (對照組)	x	x	x	x	x

## 二、應用

因本研究有模擬在風吹和異物撞擊情況下，加裝不同隱帶的穩固效果，故可應用於安全網結構，在安全網上方加裝最佳穩固效果之隱帶形狀，期能減少振幅，達到保護功用。且未來若能更進一步設計出具有優勢的輕型網狀結構，將會更有影響力，並可應用在醫學上的體內的網狀支架，例如血管中的塗藥支架。

## 伍、參考文獻

### A. 期刊論文

1. 許捷宜。2018。圓網波瀾－圓網結構之振盪模態影像分析。台灣國際科展展覽會。
2. 葉千瑋。2012。改變求生存？金蛛隱帶不一致之探討。中興大學生命科學系碩士論文。
3. 鄭任鈞。2007。The functions and evolution of the web decorations built by *Argiope* spiders。東海大學生命科學系碩士論文。
4. 潘冠竹。2020。大姬蛛不規則網之拓撲探究。台灣國際科展展覽會。
5. 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。
6. 潘冠儒，許尚軒，楊乃諺(2017)。百「稗」交「姬」-簷下姬鬼蛛群體結網空間分布及卵囊中稗蠅蛹之研究。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會。
7. Bruce, M. J., Astrid M. Heiling, A. M. & Herberstein, M. E. , 2005 , Spider signals: are web decorations visible to birds and bees? , *Biology Letters* , 1 299–302. doi:10.1098/rsbl.2005.0307.
8. Catherine, L. C. & Gary, D. B. , 1990 , Insect attraction to ultraviolet-reflecting spider webs and web decorations. , *Ecology* , 71(2): 616-623.
9. Walter, A. , 2019 , Silk decorations in *Argiope* spiders: Consolidation of pattern variation and specific signal function. , *Journal of arachnology* 472:271-275.

### B. 書籍文獻

1. 朱耀沂。蜘蛛博物學。天下文化。2007
1. Eisner, T.。眷戀昆蟲。外語教學與研究出版社。2008。
2. Russell, S. A.。花朵的秘密生命。貓頭鷹出版社。2016。

## 【評語】 050001

1. 此作品主要探討金蛛網隱帶結構與蛛網結構及其振動模式，並探討能量散布的情形，以及使用釣魚線及蠶絲進行模擬蛛網。是一具有仿生問題導向的研究。
2. 作者先研究這些隱帶的物理性質，又用蠶絲與釣魚線設計模擬蜘蛛網，以探討隱帶的穩固度與功能。設計有創意，觀察也很仔細。
3. 因為是探討隱帶結構與蛛網結構及其力學相關的問題，此作品並未說明為何採用釣魚線及蠶絲進行模擬蛛網，為什麼釣魚線可以當作蛛絲而蠶絲可以當作隱帶？這樣的類比或模擬方式在力學結構是否有意義？這樣的蛛網模擬是否具有實測的價值？實測所得的數據是否有意義？這些問題皆是作者應該優先仔細思考的重點。否則無法達到這些量測對仿生問題探討的目標。