

# 中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 生物科

第一名

030305

「隱」人入勝——探討中型金蛛與長圓金蛛之  
隱帶生態功能

學校名稱：基隆市立武崙國民中學

作者：  國二 謝允馨  國二 謝允晨  國二 林均融	指導老師：  葉玉君  曾義原
---	-----------------------------

關鍵詞：蜘蛛隱帶、反射光譜、仿生

# 得獎感言

## 2020 年 我們「隱」人入勝

在將近 365 天的日子裡，每天都和仿生網和成千上萬的質點度過，但卻是我們國中生活中最精彩且難以忘懷的回憶。

憶起最初，校展時稚嫩的我們，到青培複試時初次的落敗，經過努力，在市展中，終於取得國展的資格，準備踏入全國菁英聚集地，一窺科學的奧妙。

研究期間，整天在生物教室吹著風速微弱的電風扇，面對的是永遠做不完的實驗和分析，直到警衛的鑰匙聲擺盪在走廊間，才匆忙的收拾，跟滿天的星斗及靜謐無聲的學校道別。到家後，繼續面對無止境的質點及積欠成山的功課。

經過這些辛苦的日子，在頒獎當天聽到「第一名，030305，基隆市立武崙國中！」時，我們哽咽了，面對著鎂光燈和攝影機，心裡只有滿溢的感動和無限的感激。感動的是將近一年的辛苦與努力終於得到結果，感激的是這一路上獲得了太多的幫助，若是少了這些幫助，就沒有淚眼婆娑，但臉上卻充滿濃濃笑意的三人。

在這一年科學研究的路上，對我們來說獲得最珍貴的既不是比賽的名次，也不是龐大的獎金，而是在經歷重重困難後，積累的深厚友誼。這一年來，三人吵過的架不勝枚舉，或許是因為看法不同，或許是因為誤會後溝通不良而導致。

雖然過程中有許多爭吵，流下的淚水也多到能匯聚成一片大海，往往在爭吵後感到十分懊悔，每次都在指導老師及我們三人的溝通下，化衝突為前進的動力，迎來如今的榮耀。

從一開始不熟識的我們，到如今在彼此的面前不計形象，偶爾還會幼稚的模仿各種動物的叫聲，自在的相處，都是因為跨過了這段科展路上的荊棘後才達到的。現在，我們成為彼此最好的朋友，從陌生到熟悉，蘊含著太多的辛酸與歡欣。往後回想起這段國中生涯，大抵都是關於科學研究過程的滿滿回憶和同甘共苦的組員們。

能獲得國中生物組第一名，一切多虧了許多人的幫助：熱心提供建議且和藹可親的童麗珠教授；時常關心我們、帶領團隊的辜雅珍校長；溫柔又富經驗的葉玉君老師；熱血、認真嚴格的曾義原老師；一路陪伴協助的潘冠竹學長；負責行政事宜的黃亦萍老師；指導我們使用設備的李冠儀老師；提供 3D 列印模型的李福祉老師；指導我們口頭報告的劉怡真老師；和允許我們在教務處討論的每位老師們。而除了學校老師，也極感謝支持科學研究的父母與家人、三位班導和在班上幫助各項事務的同學們；同樣進軍國展，互相切磋的陳汶蔚、葉嘉恩、王衍雲同學；及八年級的科展組員。要感謝的很多，但最開心的還是能踏上這一條科學研究之路，在三人心點燃的科學之火，只是開始，我們將帶著火苗在科學路上發光發熱！



當初青澀的三人組，經過層層比賽洗禮，如今已脫胎換骨，傲視群雄！  
(圖為三人嶄露頭角的第一場比賽，校內初選)



一次又一次的討論，一遍又一遍的操作，培養出默契十足的革命情感。  
只要一個眼神，就能傳達無限訊息。



一整年的汗水，化成淚痕。在劃過臉上的一剎間，綻放，那最美好的回憶。

## 摘要

金蛛屬(*Argiope*)，是圓蛛科的一個屬。不論長圓或是中型金蛛其隱帶的長度與體長成正相關。研究中隱帶的長度與環境溫度、照度和風力的數值相關性不高。而在複式顯微鏡下發現隱帶的構造有疏密之分，為了解有隱帶的蛛網在承受風力以及獵物衝擊時的振動模式，以釣魚線及蠶絲製作仿生金蛛網，發現具有隱帶的蛛網其振動幅度較小。收集金蛛隱帶，檢測隱帶反射光後的光譜分布，結果發現疏隱帶的反射光譜，強度最大皆為黃橘光。仿生網受獵物撞擊及風吹的震動幅度：無隱帶 > 直線型隱帶 > 十字形密隱帶 > 疏隱帶。研究顯示疏隱帶為穩固效果最好的，仿生隱帶支撐仿生網可減少振幅。而蠶絲仿生網的振動幅度較釣魚線小，穩固性較佳。

## 壹、 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，隱帶可藉由反射紫外線光來吸引昆蟲，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且較少關於隱帶的反射光譜實驗。因此，我們決定針對隱帶對蛛網振動影響及其反射光譜深入研究。

## 貳、 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、 研究金蛛隱帶之生態功能
- 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

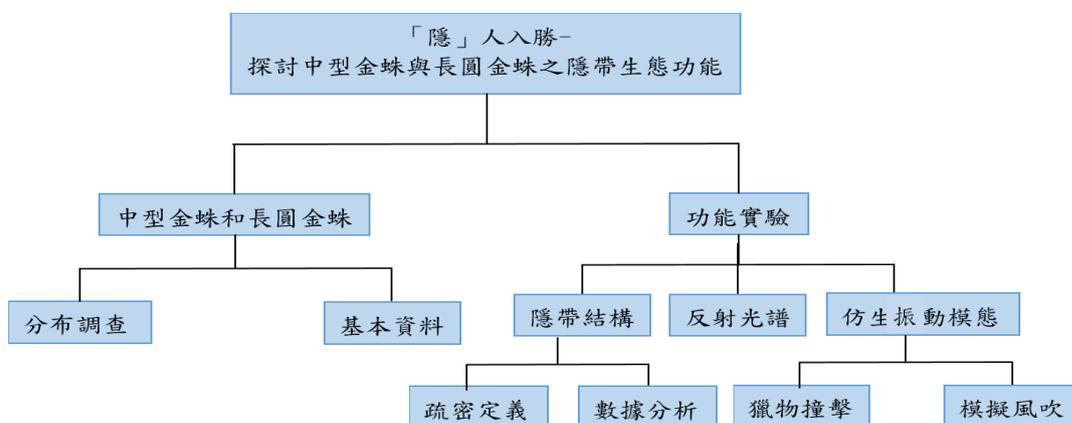


圖 2-1 研究架構圖

## 參、 研究設備與器材

- 一、 軟體：天氣溼度計、Zephy Meter、Light Meter、illustrator、Tinkercad、Tracker、ImageJ
- 二、 器材：捲尺、直尺、風速計、量角器、熱熔膠、瓦楞板、木頭、釣魚線、玻片、強力膠顯微鏡、拉力計、手電筒、試管、蠶繭、試管、燒杯、鑷子、酒精燈、九合一測量計

## 肆、 研究過程與方法

### 一、 文獻探討

#### (一) 隱帶生態功能性相關研究

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)。Catherine L.Craig和Gary D.Bernard用紫外線及白光照射隱帶，發現在紫外光的照射下，蜘蛛本體、蛛網及背景幾乎完全消失，只剩下隱帶，他們也藉由野外觀察紀錄證明了具有隱帶的蛛網能反射紫外線光吸引較多的獵物靠近(Catherine L.Craig和Gary D.Bernard,1990)。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，每天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)。

以上三點是在隱帶資料中提到的關於隱帶的生態功能及不同形狀隱帶對生態功能的影響。但在金蛛的分布與棲息環境研究中，我們發現金蛛並無固定位於隱帶的前方或後方，故本研究僅針對影響不同形狀的隱帶及反射光譜的部分進行探討。

#### (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。

### 二、 研究物種

#### (一) 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		又稱好勝金蛛，其外觀腹部黃、白色，長卵形，前方有 13 條排列緊密的波浪狀黑條斑紋，近腹端緊密，雄蛛頭胸部寬大於腹部，腹面黑色，前有一條彎月狀的白色橫帶，其上常具有 X 形白色隱帶，若蛛不具黃斑也會織 X 型隱帶。
科	金蛛科Araneidae		
屬	金蛛屬Argiope		
種	長圓金蛛 <i>A. aemula</i>		

(二) 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	其外觀頭胸部具銀白色長毛, 腹背略呈五角形, 黃色, 背上有黑色的橫紋帶, 中間及腹末的橫帶較寬, 底色橙紅色內有黑、白的斑紋排列, 前後步足張開合併呈 4 條,
屬 金蛛屬 <i>Argiope</i>	網上常有隱帶, 腹部型態接近「五角型」。
種 類高居金蛛 <i>A. aetheroides</i>	



三、 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 樓梯間及野外環境, 以九合一測量計測量溫度、濕度、氣壓、風速、天氣及每隻蜘蛛的亮度等變因。設定 XY 座標位置, 並用 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4-1), 並比較隱帶在人工及野外環境中的差異。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4-2)。

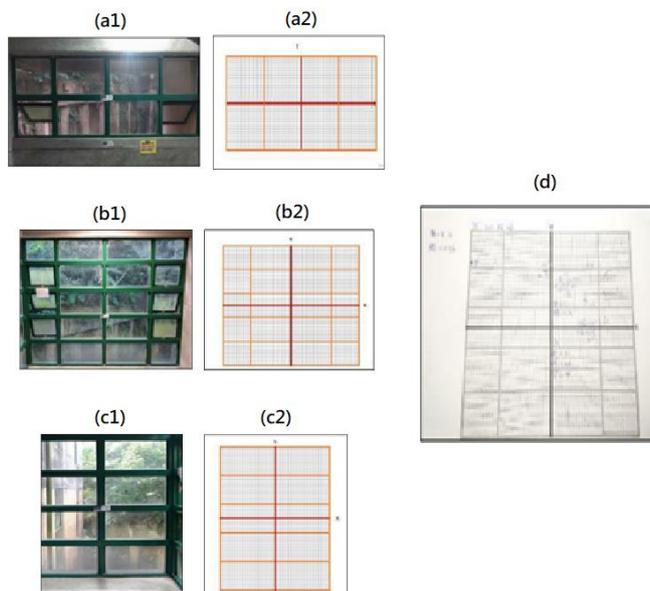


圖 4-1 分布位置與自製座標, a1、b1、c1 分別是 2F~3F 樓梯間窗戶、3F~4F 樓梯間左窗與 3F~4F 右窗, a2、b2、c2 則為自製座標。d 是列印出的紙本檔樣本, 用於紀錄數據

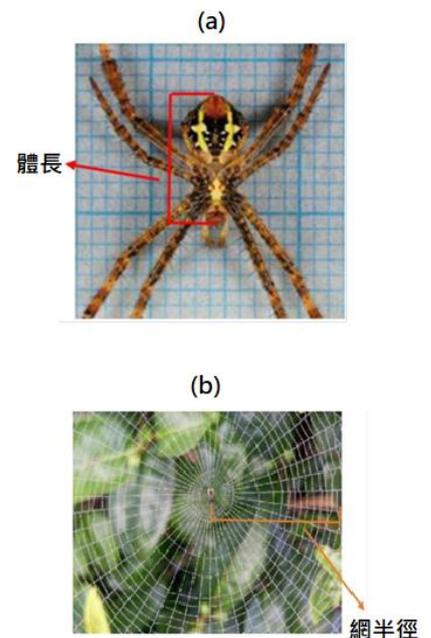


圖 4-2 體長與網半徑, (a)體長及 (b)網半徑

四、 隱帶功能研究

(一) 野外隱帶結構分析

為了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4-3), 最後用 Tinkercad 照隱帶的各項長度及角度繪製立體隱帶模型。

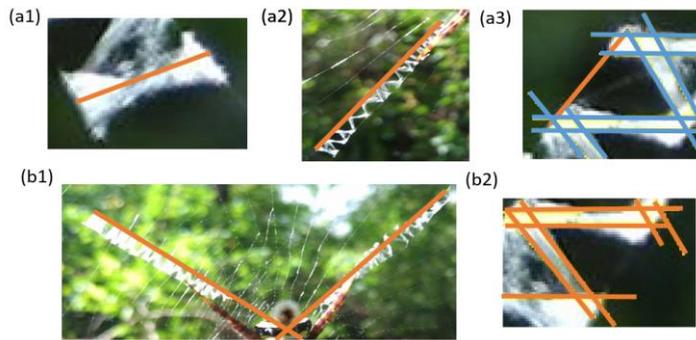


圖 4-3 隱帶數據定義，(a1)為隱帶斜線長度，(a2)為隱帶全長，(a3)為絲線間的長度，(b1)和(b2)則分別為隱帶間角度和絲線間角度

### (二) 隱帶顯微結構觀察

為了深入了解隱帶的組成，及疏、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2.5x2.5cm的固定長寬比拼接在一起，即可看出隱帶的結構(圖4-3)。

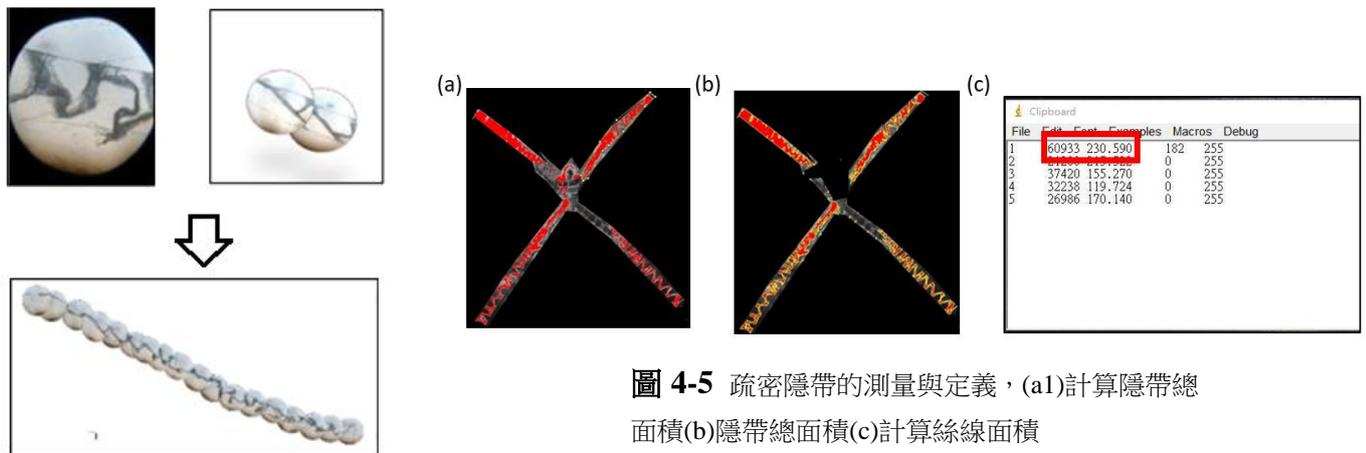


圖 4-5 疏密隱帶的測量與定義，(a1)計算隱帶總面積(b)隱帶總面積(c)計算絲線面積

圖 4-4 隱帶顯微結構繪製方式示意圖

### (三) 定義疏密

記錄蜘蛛的分布位置時，發現隱帶的結構有疏密之分，為了明確的分辨其疏與密，使用 ImageJ 算出疏隱帶及密隱帶中絲線所占隱帶的總面積比例(%) (圖4-5)，之後計算兩種隱帶比例的平均，平均後的數字做為標準，以定義疏密。公式：隱帶絲線面積/總面積。

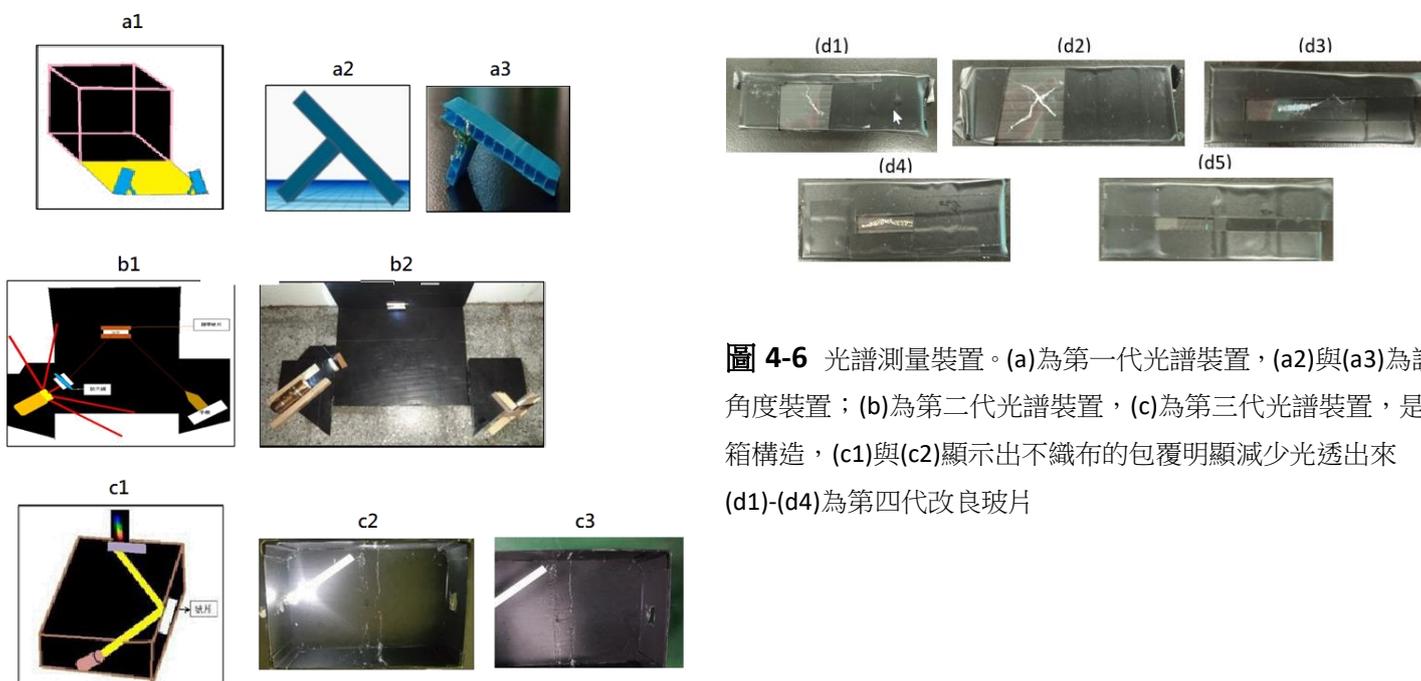
### (四) 隱帶反射光譜研究

在文獻中有提到，隱帶能夠反射紫外線光藉此吸引昆蟲捕食。因此，為了解隱帶與白光反射光譜波形的差異，自製光譜裝置，並比較不同隱帶反射光譜之差異。

1. 第一代裝置分為三個部分：手電筒、暗箱及光譜儀(圖4-6-a)。為了探討不同入射角度是否會對光譜造成影響，研究中從 20° 到 45° 每隔 5 度用瓦楞板製作一個三角形的角度架。接著製作暗箱，再以黑色瓦楞板製作正方體，並在裡面黏木頭擺放隱帶玻片。最後製作光譜儀，以Tinkercad 設計雷射切割製作光譜儀，在其中一面黏上 CD 片當作光柵，並以手機拍攝光譜。
2. 自製光譜裝置第二代：因為第一代裝置太過複雜，不容易操作，因此設計了較為簡便的第二代裝置(圖4-6-b)。以一塊瓦楞板當背板取代暗箱，為了固定隱帶玻片且方便調整高低，在背板上用泡棉膠黏兩片木頭夾住隱帶。又為了使光的照度更強，在手電筒前方放了放大鏡，以聚焦光源增加照度；而且為了使手機能固定，研究中自製手機架放在光譜儀後面。最後依照反射定律，不停嘗試及

調整找出入射角與反射角的最佳角度，將手電筒及光譜儀固定在地板上。且為了確保每一次拍攝都是一樣，在手電筒及放大鏡旁，以木頭固定位置。但第二代裝置雖然簡便，但可能有其他光源干擾，影響實驗結果，所以又設計第三代。

3. 自製光譜裝置第三代：為避免光源干擾，又將瓦楞板改回暗箱，但與第一代不同的是變成長方體，並在長方體左側挖一個洞放手電筒，讓光照進暗箱裡面，並且為了讓光直線前進，在手電筒前方裝了吸管，以黑色不織布包住吸管，讓光線不要透出來。接著放進隱帶，並在長方體左側挖一個洞放置 CD 片當作光柵，最後將手機鏡頭對準洞口以拍攝光譜(圖4-6-c)。當需要替換隱帶時，就將上方的蓋子掀起來即可。這樣光線比較不容易透出，所拍攝光譜的照片也能減少其他光源干擾。
4. 自製光譜裝置第四代：第三代光譜裝置拍出的光譜照片多為玻片所反射，為了改善問題，研究中使用單片玻片當作擺放隱帶的位置，並在玻片後方加上黑色瓦楞板，以黑色不透光膠帶將隱帶周圍的玻片黏貼起來，減少玻片反射對光譜所帶來的影響。
5. 光譜裝置拍攝光譜照片後，拍攝物品總共分成玻片、三種密隱帶及一種疏隱帶(圖4-6)。之後用ImageJ分析光譜照片，探討不同種物品之光譜差異。利用可見光光譜的波長來矯正反射光譜X軸，而波長來源取於國際照明委員會中源於光學學會的文獻資料，紅色=700nm、綠色=546.1nm、藍色=435.8nm。



**圖 4-6** 光譜測量裝置。(a)為第一代光譜裝置，(a2)與(a3)為調整角度裝置；(b)為第二代光譜裝置，(c)為第三代光譜裝置，是暗箱構造，(c1)與(c2)顯示出不織布的包覆明顯減少光透出來 (d1)-(d4)為第四代改良玻片

## 五、 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，研究中使用自己飼養的金蛛蛛網的照片，藉此了解蛛網的各處結構。

### (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(圖4-9)。

### (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。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4-7)。

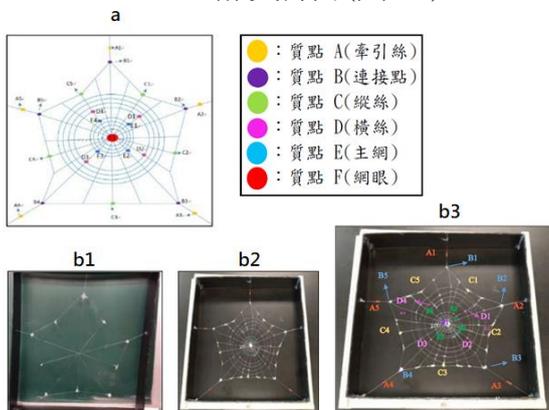


圖 4-7 自製仿生網，根據實體網繪製

- (a) 仿生網設計圖，並依序製作(b1)牽引絲與縱絲、  
(b) (b2)內外圈橫絲，最後標上(b3)各質點

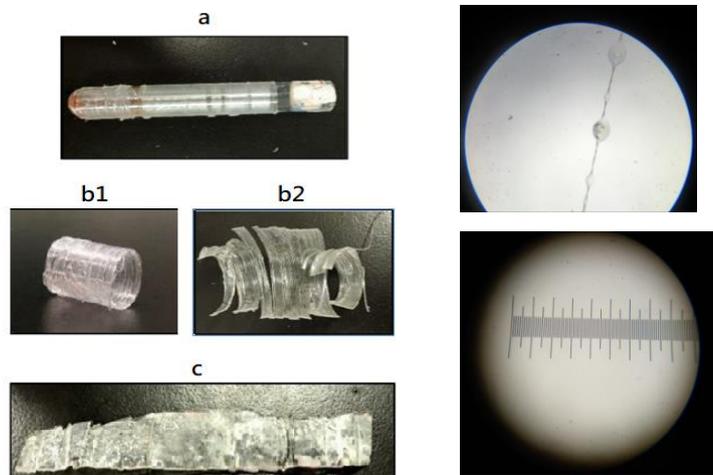


圖 4-8 密隱帶製作示意圖，(a)將釣魚線纏繞在試管上，(b)固定後取下剪開成(b2)，壓平後黏合成(c)

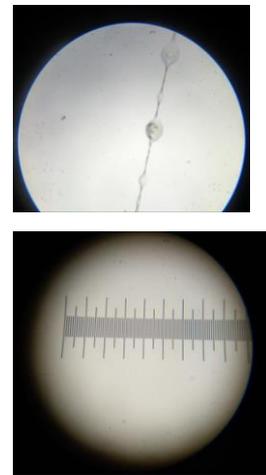


圖 4-9 測量蛛網直徑

3. 釣魚線仿生隱帶：

(1) 製作密隱帶：將釣魚線纏在試管上面，之後以強力膠固定，等到強力膠凝固了後，將仿生隱帶從試管上取出即完成。(圖4-8)。

(2) 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(圖4-9)。



圖 4-9 疏隱帶製作示圖，  
(a)將釣魚線黏在瓦楞板並拼接成(b)疏隱帶完成圖

4. 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 4-10），故以螢光筆在蠶絲仿生網上標記質點以代替紙膠帶。

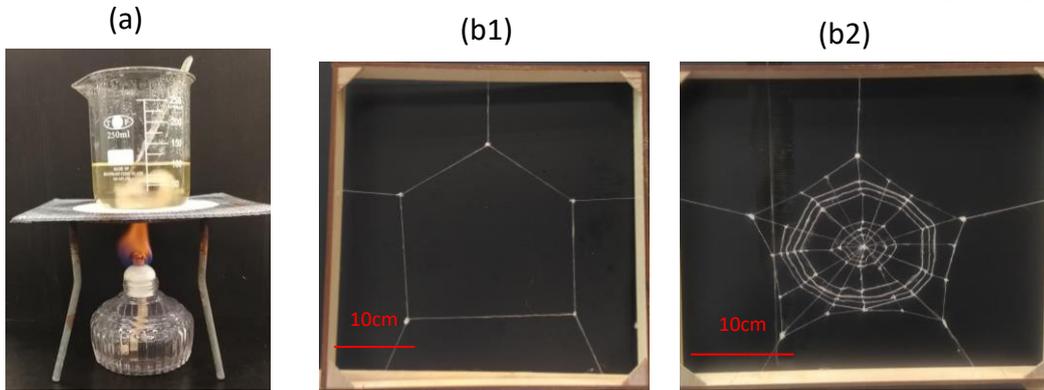


圖 4-10 蠶絲仿生網製作圖，(a)以熱水加熱蠶繭(b1)牽引絲及外網(b2)仿生網完成圖

5. 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4-11)。



圖 4-11 蠶絲仿生隱帶圖，(a)密隱帶(b)疏隱帶完成圖

6. 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。

- (1) 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。

- (2) 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)之後以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。

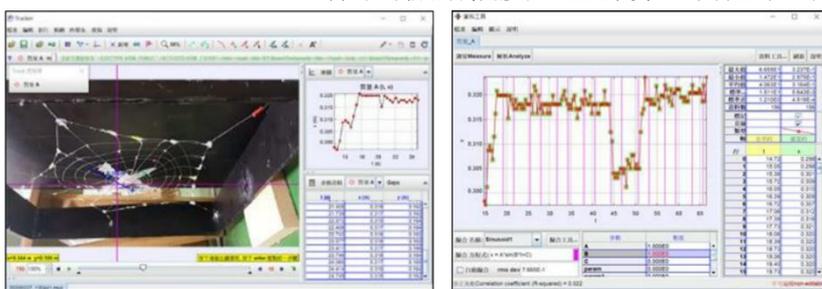


圖 4-12 Tracker 分析示意圖。將質點點出，並使用內建之自動追蹤功能繪製振動模型

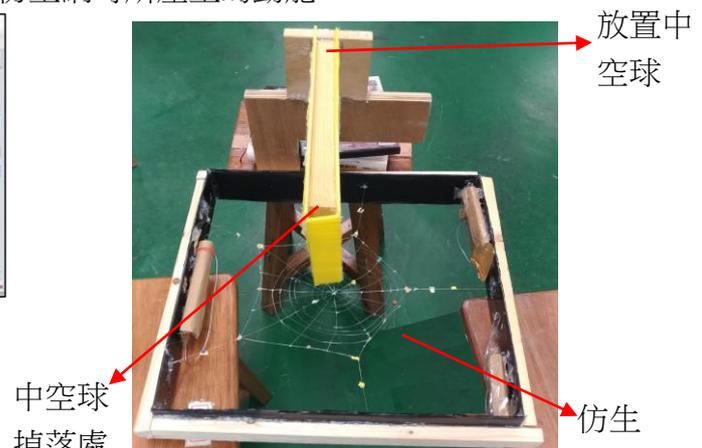


圖 4-13 獵物撞擊仿生網裝置

## 伍、 研究結果

### 一、 探討校園金蛛分布與棲息環境

#### (一) 探討中型金蛛及長圓金蛛生活環境及織網變化

我們從分布資料中發現，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 5-1 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 時隱帶形狀有非常多種類，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 2.3m/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 0.8m/s 時，隱帶形狀較風速為 1.4m/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，因此我們針對每天的氣溫、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。

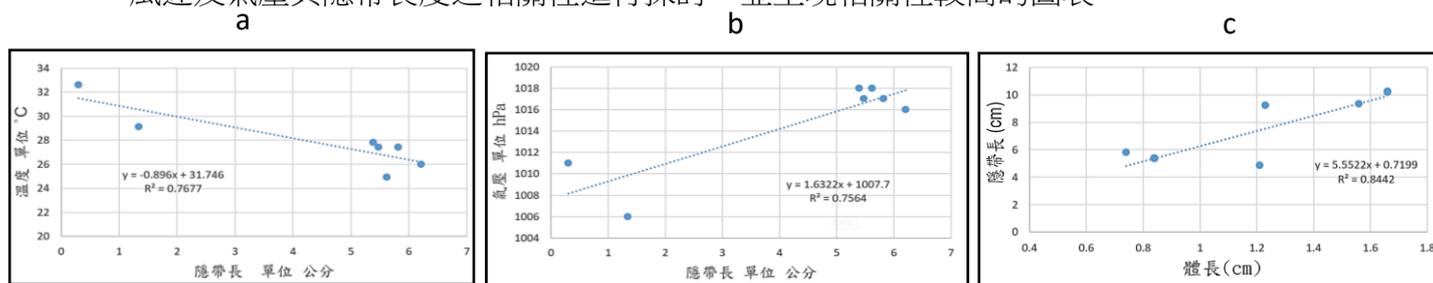


圖5-1 中型金蛛隱帶長與環境因素之相關性

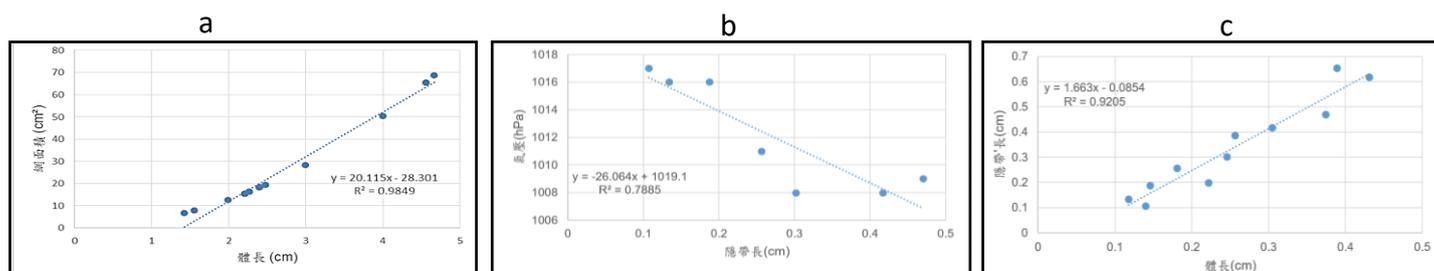
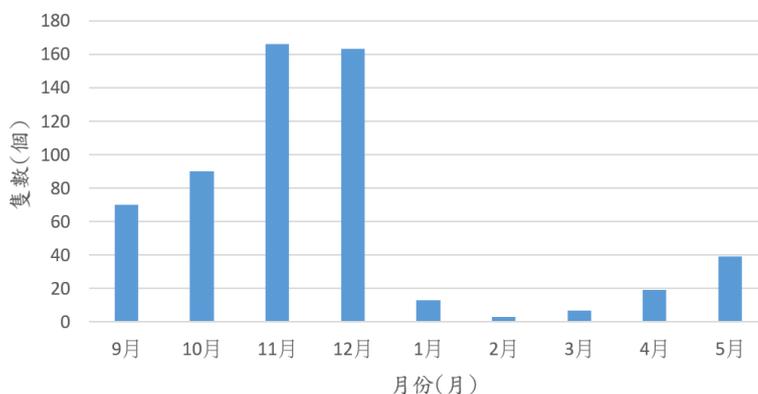


圖5-2 長圓金蛛隱帶長與環境因素之相關性

- (1) 在中型金蛛體長與隱帶長之相關性(圖5-1-c)及長圓金蛛體長與隱帶長之相關性(圖5-2-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5-1-b)及長圓金蛛隱帶長與氣壓之相關性(圖5-2-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。

**表 5-2 單月金蛛總數統計表**

月份	蜘蛛總數(隻)
9月	70
10月	90
11月	166
12月	163
1月	13
2月	3
3月	7
4月	19
5月	39

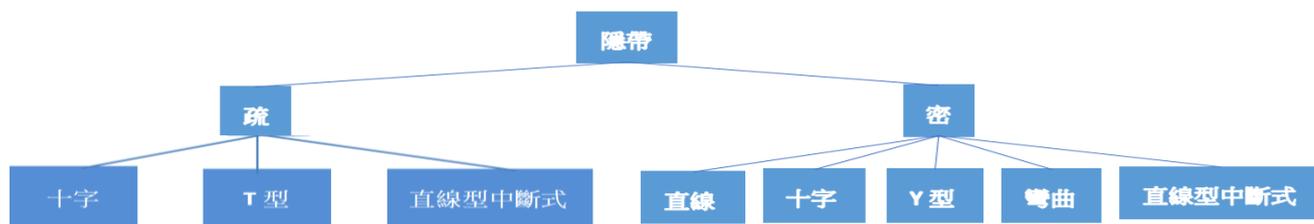


**圖 5-3 09/19-05/29 單月金蛛總數長條圖**

- (1) 在單月金蛛總數統計表(表5-2)及單月金蛛總數長條圖(圖5-3)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。
- (2) 在二月之後雖然金蛛數量有上升趨勢，但在五月時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。

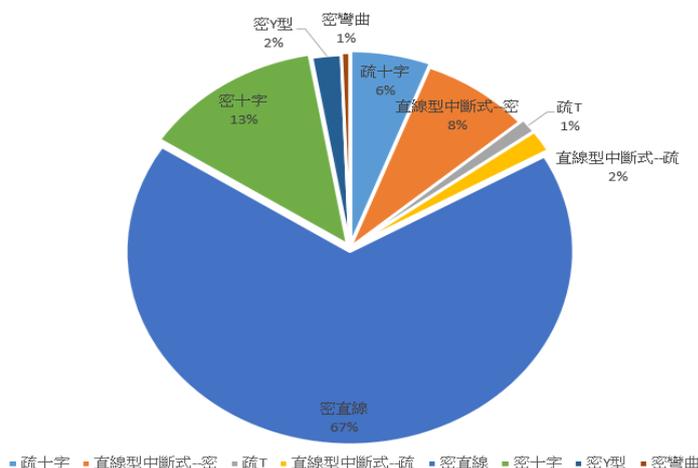


**圖5-4 隱帶分類圖**

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。

**表 5-3 隱帶種類出現次數**

隱帶種類	出現次數(次)
疏十字	19
密十字	43
密直線	221
密Y型	7
疏T型	4
密彎曲	2
密直線型中斷式	26
疏直線型中斷式	6



**圖5-5 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。

## 二、隱帶結構研究

### (一) 野外隱帶結構分析

#### 1. 隱帶詳細資料

隱帶絲線的長度(圖5-6-a)網子內圈靠近，長度就越減少，而隱帶上邊和下邊空隙間距長度(圖5-6-f)皆為越靠近網子內圈，長度則越長，且上下邊間距長度(圖5-6-d)大致一樣。隱帶上邊和下邊角度(圖5-6-h,i)皆為越往網子內圈，角度則越大，但上下邊角度(圖5-6-g)則大致不同。四邊的隱帶長度(圖5-6-b)以左下的最長，右上最短，至於四邊的隱帶間夾角角度(圖5-6-c)相近，且相加後為357度，幾乎成一個正圓，證明隱帶絲線的上邊長與下邊長呈現平行的狀態。



圖 5-6 隱帶的各種資料

(a)左上隱帶絲線長度 (b)四邊隱帶總長度 (c)四邊隱帶間夾角角度 (d)左上隱帶空隙間距長度  
 (e)左上隱帶上邊空隙間距長度 (f) 左上隱帶下邊空隙間距長度 (g)左上隱帶空隙角度  
 (h)左上隱帶上邊空隙角度(i) 左上隱帶下邊空隙角度

#### 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(圖5-7-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5-7-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5-7(a,c))。

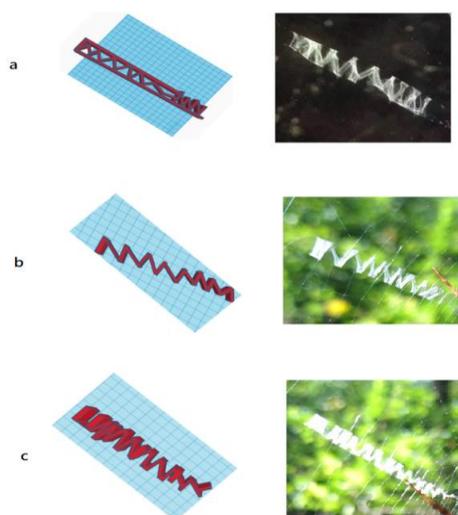


圖 5-7 Tinkercad 模型圖。使用量測之數據繪製的等比例圖。(a)、(b)、(c)分別為 A1、A2 和 A3 中型金蛛所結的隱帶

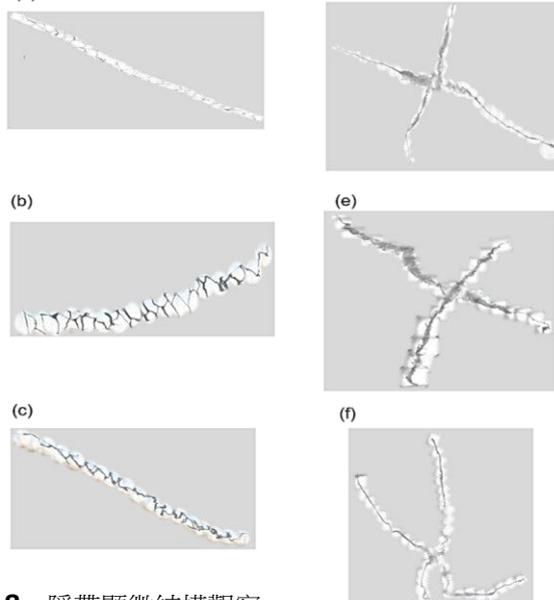


圖 5-8 隱帶顯微結構觀察

(a)、(b)、(c)為三種不同的疏隱帶  
(d)、(e)、(f)為三種不同的密隱帶

## (二) 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5-8-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堆疊的三角形圖形，而三角形的尖端會互相接連，形成一個有規律的隱帶。
- (2) 疏隱帶B：可以明顯看出疏B圖(5-8-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的堆疊三角形相比，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5-8-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堆疊三角形的圖形。
- (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5-8-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 X 形，且一長一短，在四條線中以右下絲線最長。
- (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5-8-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5-8-a)倒是有形狀相似之處。
- (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5-8-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形，而是類似L形，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 X，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。

### (三) 定義疏密

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，定義當隱帶的平均  $> 88.5\%$  為密隱帶，而  $< 60.5\%$  為疏隱帶，位於  $60.5\% \sim 88.5\%$  則歸類為模糊地帶。

### (四) 隱帶反射光譜研究

為比較反射光譜的相對強度，統計不同隱帶所反射的波長峰值。單片玻片的峰值分別是 525,617nm (圖 5-9-e1)、502,611 (圖 5-9-e2) 及 512,626 (圖 5-9-e3)，有兩個波峰，且反射主要顏色為綠色及橙色。在加入了密 A 隱帶後，峰值轉為 512,595 (圖 5-9-a1)、534,600 (圖 5-9-a2) 及 524,598nm (圖 5-9-a3)，三次測量的結果皆相似；而密 B 隱帶則是 512,606 (圖 5-9-b1)、500,601 (圖 5-9-b2) 及 509,615nm (圖 5-9-b3)，曲線相較單片玻片的平均低；在密 C 隱帶中，峰值分別為 504,607 (圖 5-9-c1)、518,620 (圖 5-9-c2) 及 516,609nm (圖 5-9-c3)，而三個密隱帶反射較強的顏色皆為綠色及橙色。疏 A 隱帶的峰值則是 493,604 (圖 5-9-d1)、518,621 (圖 5-9-c2) 及 492,594nm (圖 5-9-c3)，反射顏色大多為橙色及藍色。而玻片與密隱帶的波形及反射顏色較為相近，疏隱帶則不同。灰階值指圖像中每個像素由 0 (黑) 到 255 (白) 的亮度值。

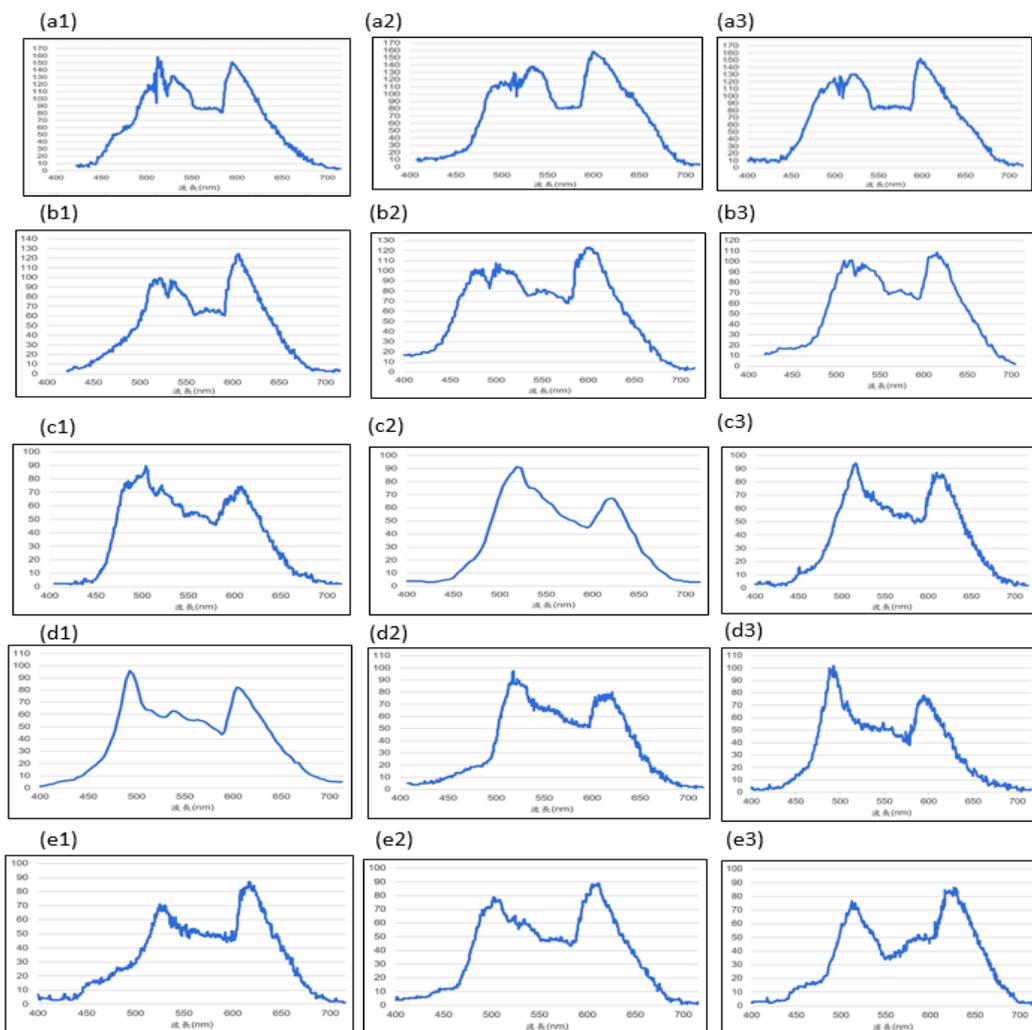


圖 5-9 反射光譜曲線圖，Y 軸為 0-255nm 的灰階值

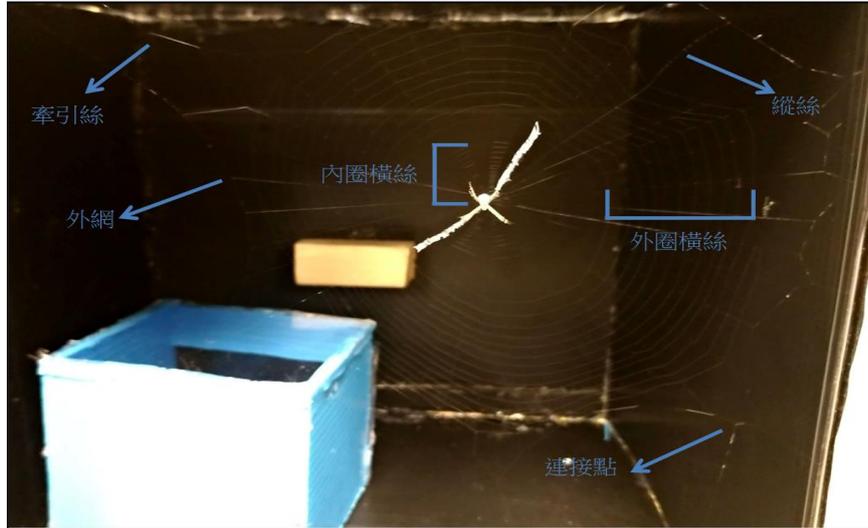
(a1),(a2),(a3)為密 A 隱帶的三次光譜 (b1),(b2),(b3)為密 B 隱帶的三次光譜 (c1),(c2),(c3)為密 C 隱帶的三次光譜 (d1),(d2),(d3)為疏 A 隱帶的三次光譜 (e1),(e2),(e3)為單片玻片的三次光譜

### 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

#### (一) 探討蛛網結構

研究中觀察到蛛網分為內圈橫絲、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點。

圖5-10 蛛網結構



#### (二) 測量蛛絲直徑

表5-4 各部位蛛絲直徑平均表

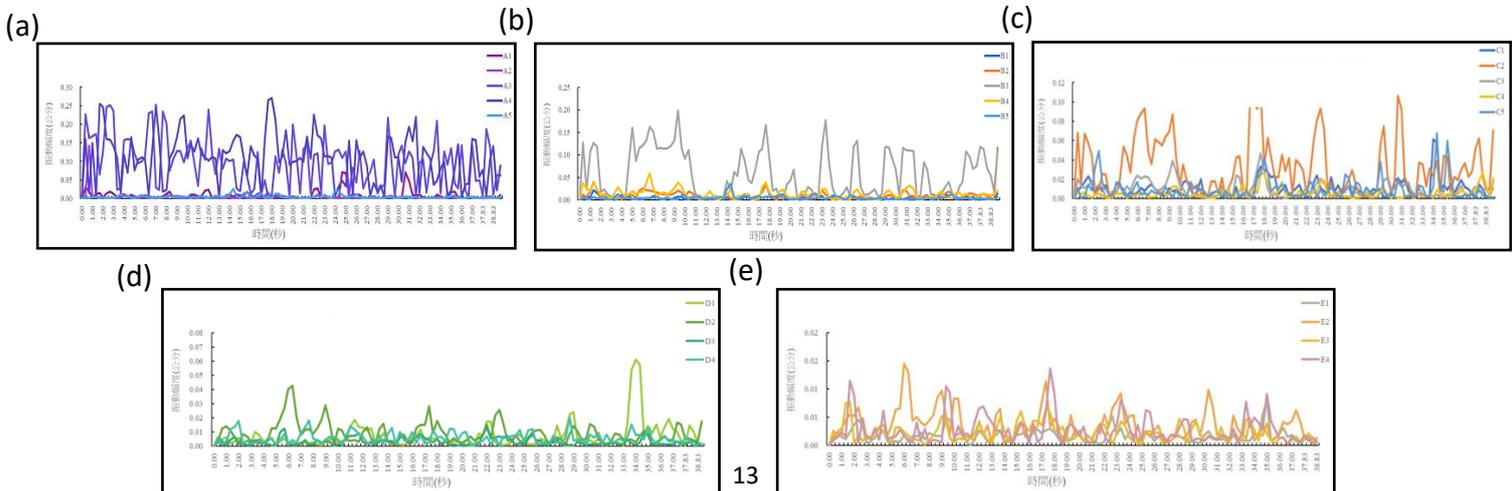
蛛絲種類	牽引絲	外網	外圈橫絲	內圈橫絲	縱絲
直徑(μm)	15.7	9.67	6.574	3.608	4.46

從上表(表5-4)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。

#### (三) 探討仿生隱帶對仿生金蛛網振動影響

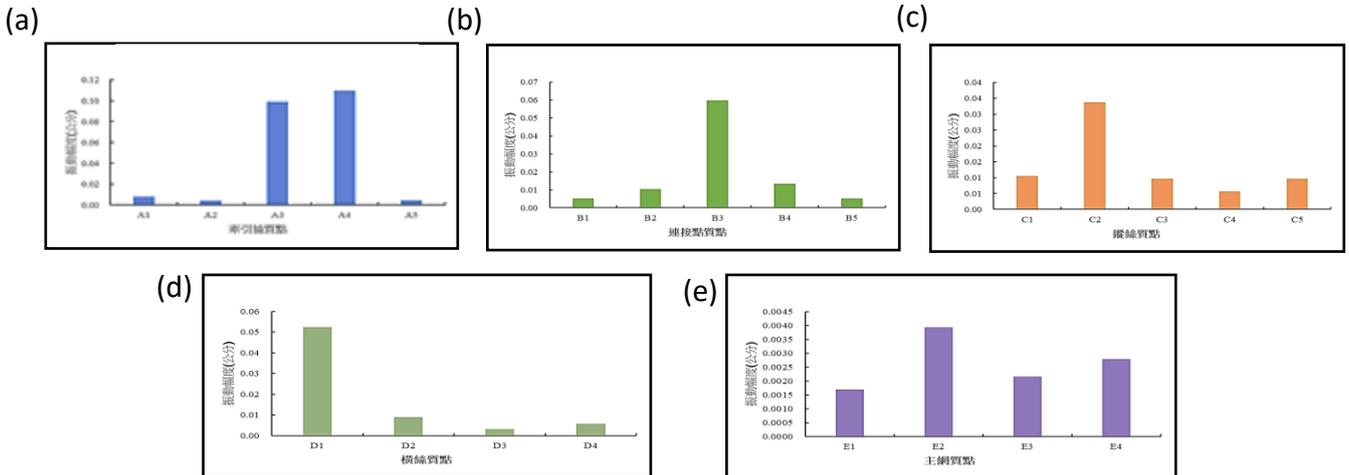
##### 1. 釣魚線仿生金蛛網：具疏隱帶風吹振動模式

實驗過程中，總共記錄了 20 秒金蛛仿生網受風力振動的情形，使用 tracker 軟體分析，每 1/3 秒記錄一次質點的位置，以此方式計算質點的振動幅度，牽引絲、連接點、縱絲、外圈橫絲、內圈橫絲的振動模式(圖 5-11)。



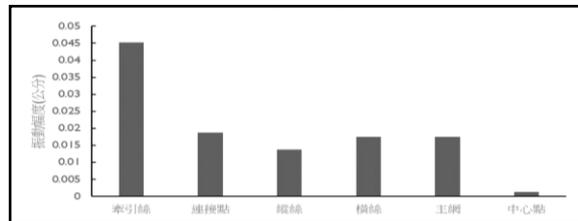
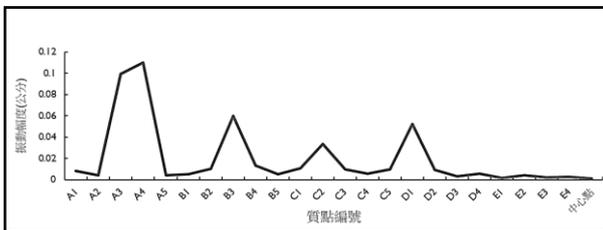
**圖 5-11** 仿生金蛛網具疏隱帶蛛網各部位質點的振動模式：(a)牽引絲 (b)連接點 (c)縱絲 (d)外圈橫絲 (e)內圈橫絲

(1) 進一步分析每一個質點的振動幅度，從牽引絲的 A 群質點來看，其振動幅度： $A4 > A3 > A1 > A5 > A2$ (圖 5-12-a)。而從連接點來看，結果發現，在相同的風力吹拂下，其振動幅度最大為 B3，其幅度為 0.0598 公分；其次為 B4，最小為 B1 其幅度為 0.0052 公分(圖 5-12-b)。在同樣的風力作用下，外網質點其振動幅度以 C2 的幅度 0.337 公分為最大，其大小為  $C2 > C1 > C5 > C3 > C4$ (圖 5-12-c)。外圈橫絲質點的振動幅度，其振動幅度以 D1 的幅度 0.0523 公分為最大，其大小為  $D1 > D2 > D4 > D3$ (圖 5-12-d)。內圈橫絲的質點振動幅度以 E2 的幅度 0.0039 公分為最大，其大小為  $E2 > E4 > E3 > E1$ (圖 5-12-e)。



**圖 5-12** 仿生金蛛網具疏隱帶蛛網各部位質點的震動幅度：(a)牽引絲 (b)連接點 (c)縱絲 (d)外圈橫絲 (e)內圈橫絲

(2) 計算各質點的平均振動幅度，結果發現，A4 為全部蛛網中振動幅度最大的，其次為 A3，而中心點的振動幅度最小(圖 5-13)。



**圖 5-13** 仿生金蛛具疏隱帶蛛網各質點平均振動幅度

**圖 5-14** 仿生金蛛具疏隱帶蛛網不同質點類型平均振動幅度

(3) 進一步計算不同類型質點的平均振幅大小(表 5-5、圖 5-14)。牽引絲振動幅度 > 連接點 > 縱絲 > 外圈橫絲 = 內圈橫絲 > 中心點。顯示在同樣的風力作用下，周圍的牽引絲結構最為容易晃動，而中心點的部位最為穩固，不容易晃動。

**表 5-5** 仿生金蛛具疏隱帶蛛網不同質點類型平均振動幅度

蛛絲部位	牽引絲	連接點	縱絲	外圈橫絲	內圈橫絲	中心點
平均震幅(cm)	0.04515	0.01876	0.01382	0.0176	0.0176	0.0013

## 2. 釣魚線仿生金蛛蛛網：具直線型隱帶風吹振動模式

實驗過程中，總共記錄了 20 秒金蛛仿生網受風力振動的情形，使用 tracker 軟體分析，每 1/3 秒記錄一次質點的位置，以此方式計算質點的振動幅度，牽引絲、連接點、縱絲、外圈橫絲、內圈橫絲的振動模式(圖 5-15)。

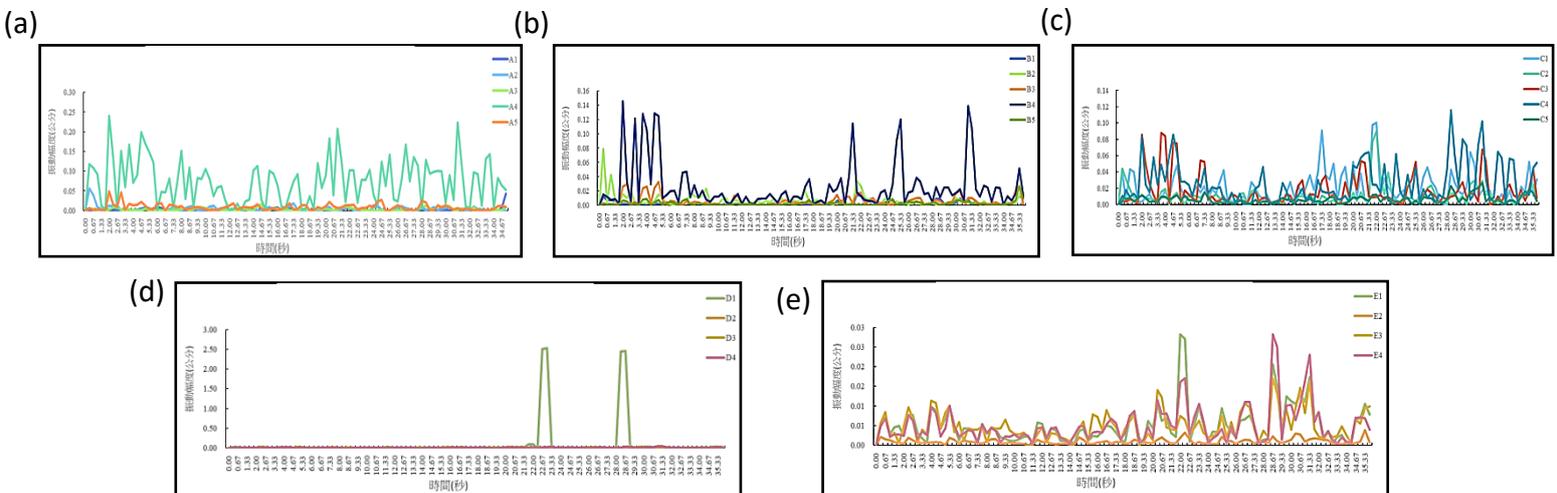


圖 5-15 仿生金蛛網具直線隱帶蛛網各部位質點的振動模式：(a)牽引絲 (b)連接點 (c)縱絲 (d)外圈橫絲 (e)內圈橫絲

- (1) 以牽引絲的五點來看(圖 5-15-a)，結果發現，在相同的風力吹拂下，其振動幅度最大為 A4，其幅度為 0.075 公分；最小為 A2 其幅度為 0.0009 公分。
- (2) 進一步分析每一個質點的振動幅度，從牽引絲的 A 群質點來看(圖 5-15-a)，其振動幅度： $A4 > A5 > A2 > A3 > A1$ 。而從連接點來看，結果發現，在相同的風力吹拂下，其振動幅度最大為 B4，其幅度為 0.026 公分；其次為 B2，最小為 B5 其幅度為 0.0028 公分(圖 5-15-b)。在同樣的風力作用下，縱絲質點其振動幅度以 C4 的幅度 0.0265 公分為最大，其大小為  $C4 > C1 > C3 > C2 > C5$  (圖 5-15-c)。橫絲質點的振動幅度以 D1 的幅度 0.0523 公分為最大，其大小為  $D1 > D3 > D4 > D2$  (圖 5-15-d)。主網的質點其振動幅度以 E1 的幅度 0.0052 公分為最大，其大小為  $E1 > E4 > E3 > E2$  (圖 5-15-e)。

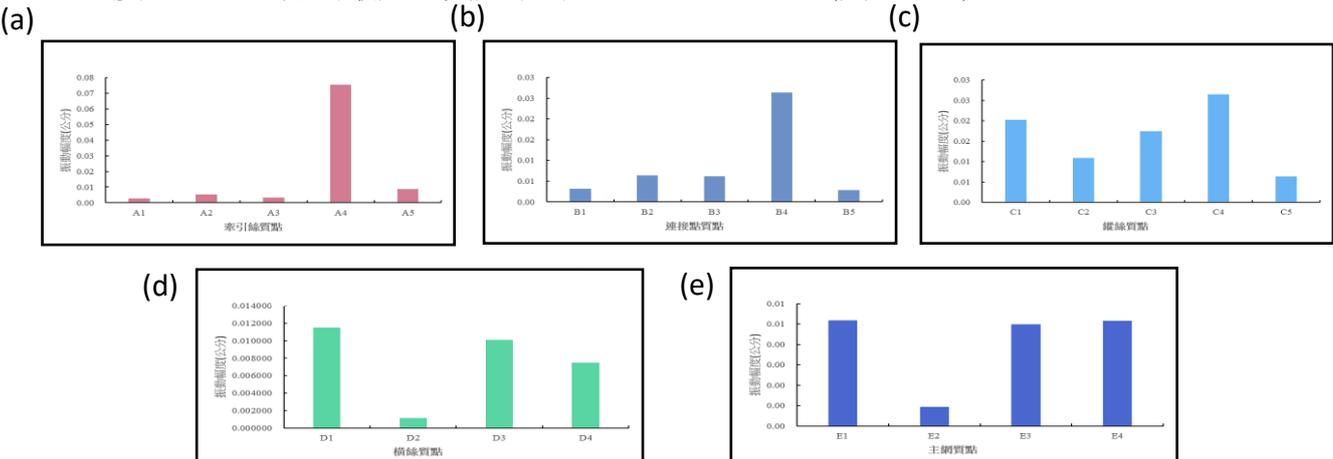


圖 5-16 仿生金蛛網具直線隱帶蛛網各部位質點的震動幅度 (a)牽引絲 (b)連接點 (c)縱絲 (d)外圈橫絲 (e)內圈橫絲

- (3) 計算各質點的平均振動幅度(圖 5-17)。結果發現，A4 為全部蛛網中振動幅度最大的，其次為 C3，而中心點的振動幅度最小。

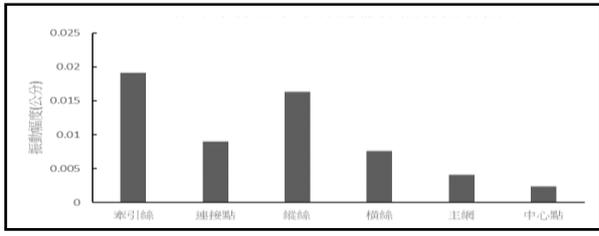
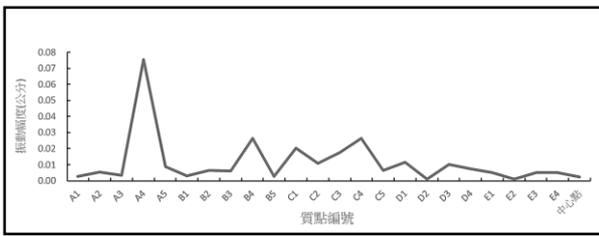


圖 5-17 仿生金蛛具直線隱帶蛛網各質點平均振動幅度 圖 5-18 仿生金蛛具直線隱帶蛛網不同質點類型平均振動幅度

- (4) 進一步計算不同類型質點的平均振幅大小(表 5-6、圖 5-18)。牽引絲振動幅度 > 縱絲 > 連接點 > 橫絲 > 主網 > 中心點。顯示在同樣的風力作用下，周圍的牽引絲結構最為容易晃

動，而中心點的部位最為穩固，不容易晃動。

表 5-6 仿生金蛛具疏隱帶蛛網不同質點類型平均振動幅度

蛛絲部位	牽引絲	連接點	縱絲	外圈橫絲	內圈橫絲	中心點
平均震幅(cm)	0.01914	0.008957	0.016305	0.007553	0.004061	0.002356

### 3. 釣魚線仿生金蛛蛛網：不具隱帶風吹振動模式

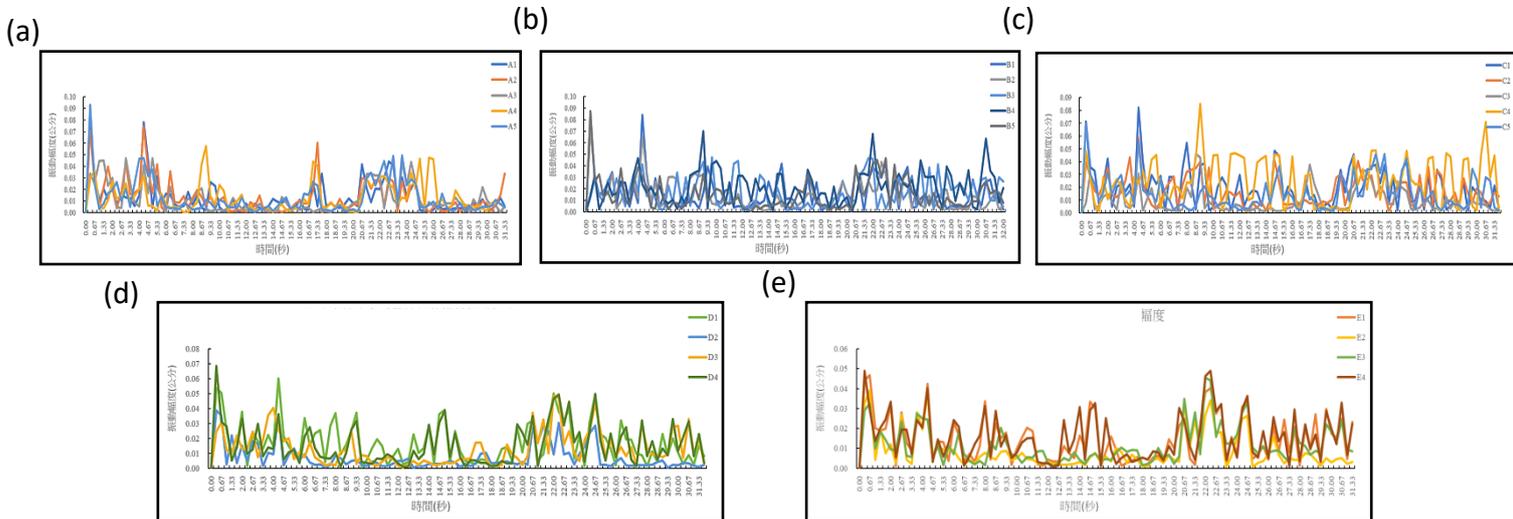


圖 5-19 仿生金蛛網不具隱帶蛛網各部位質點的振動模式，(a)牽引絲 (b)連接點 (c)縱絲 (d)外圈橫絲 (e)內圈橫絲  
進一步分析每個部位質點的振動情形。在牽引絲的 A 群質點中，每個振動幅度都差不多，並無明顯差異(圖 5-19-a)。在連接點的 B 群質點中，雖振幅差異性不大，但相較於 A 群質點，B 群質點振動的幅度較大(圖 5-19-b)。而在外網的 C 群質點中，可看出 C1 和 C4 振動幅度明顯較大。(圖 5-19-c)。而在外圈橫絲的 D 群質點中，D1 及 D4 是振幅較大的兩個質點，其餘便無明顯差異性(圖 5-19-d)。最後是內圈橫絲的 E 群質點，其質點的振幅並無明顯差異，但 E 群質點的平均振幅相較於其他質點是最小的(圖 5-19-e)。

### 4. 釣魚線仿生金蛛蛛網：具十字型隱帶風吹振動模式

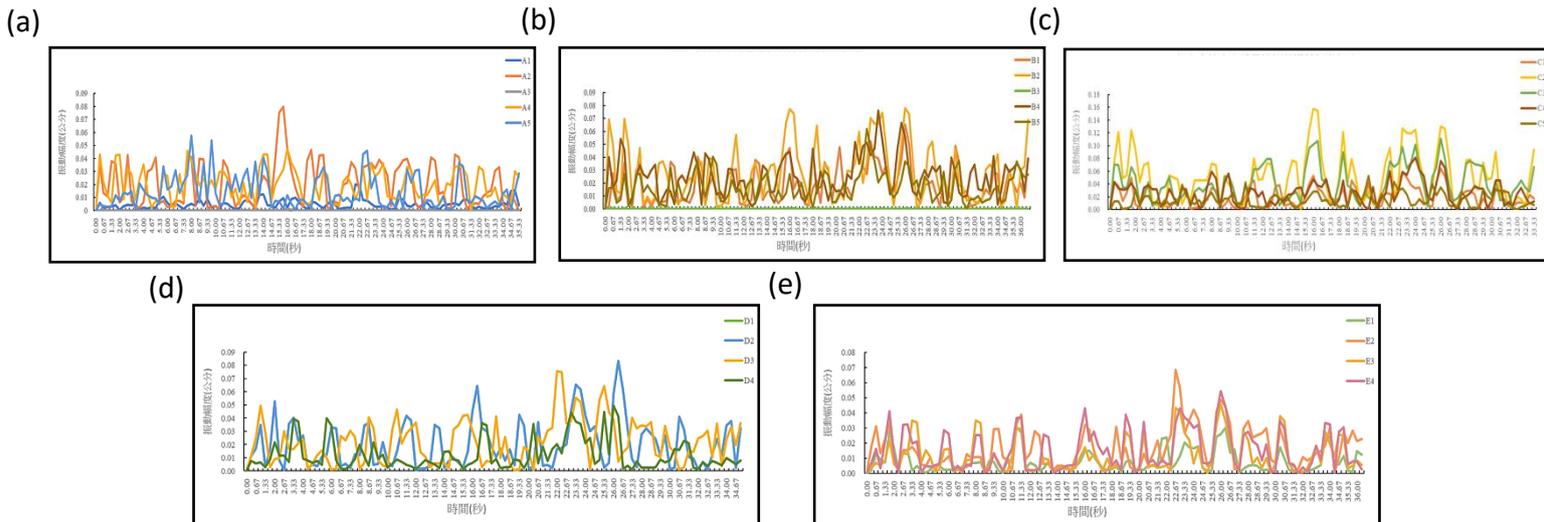


圖 5-20 仿生金蛛網具十字隱帶蛛網各部位質點的振動模式：(a)牽引絲 (b)連接點 (c)縱絲 (d)外圈橫絲 (e)內圈橫絲  
在牽引絲的 A 群質點中，A2 的振幅明顯最高，但其餘質點並無明顯區別，相較於不具隱帶的仿生網振幅略為下降(圖 5-20-a)。而在連接點的 B 群質點中，B3 的振幅是最低的，與其他質點

相比，B3 幾乎沒有振動，但平均振幅較不具隱帶仿生網小(圖 5-20-b)。位於外網的 C 群質點，C2、C3 兩點的振動模態明顯是位於波峰(圖 5-20-c)。在外圈橫絲的 D 群質點中，其振動幅度並無明顯區別(圖 5-20-d)。最後是內圈橫絲的 E 群質點，其質點的振動情形也很相似，並無差別(圖 5-20-e)。

### 5. 蠶絲仿生金蛛蛛網：具疏隱帶風吹振動模式

實驗過程中，總共記錄了 20 秒金蛛仿生網受風力振動的情形，使用 tracker 軟體分析，每 1/3 秒記錄一次質點的位置，以此方式計算質點的振動幅度，牽引絲、連接點、外網、外圈橫絲、內圈橫絲的振動模式(圖 5-21、5-22)。Y 軸座標單位：cm，X 軸座標單位：秒。

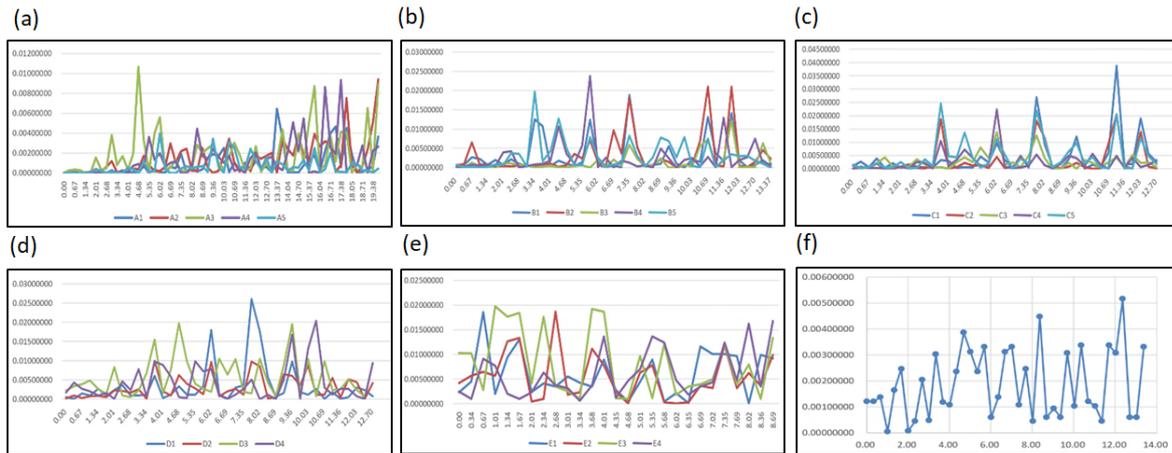


圖 5-21 仿生金蛛網具疏隱帶蛛網各部位質點的振動模式：(a)牽引絲 (b)連接點 (c)外網 (d)外圈橫絲 (e)內圈橫絲 (f)中心點

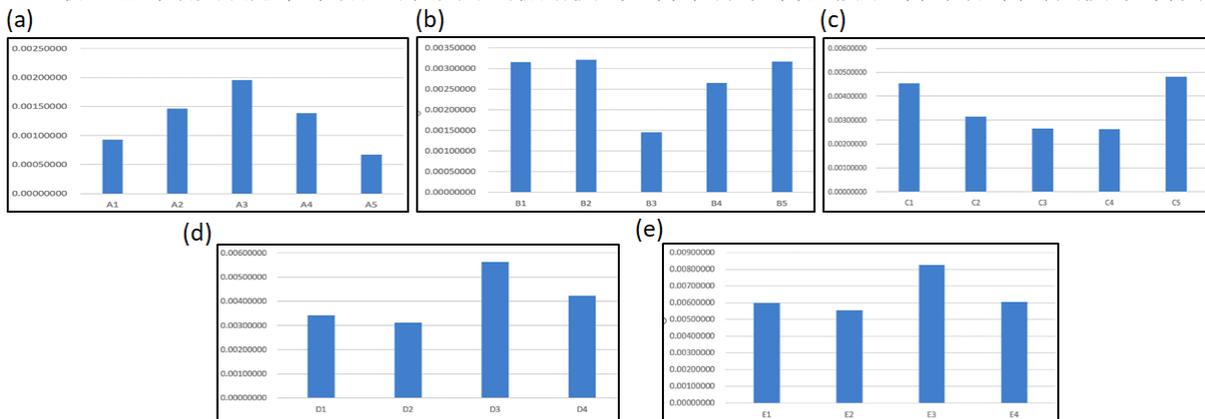


圖 5-22 仿生金蛛網具疏隱帶蛛網各部位質點的振動幅度 (a)牽引絲 (b)連接點 (c)外網 (d)外圈橫絲 (e)內圈橫絲

進一步分析每一個質點的振動幅度，可看出牽引絲的 A 群質點其振動幅度： $A3 > A2 > A4 > A1 > A5$ (圖 5-22-a)，而以 A3 的振幅 0.011 公分為波峰(圖 5-21-a)。而在連接點振動中，振動幅度： $B2 > B5 > B1 > B4 > B3$ (圖 5-22-b)，而 B2 為振動幅度最大，其振動幅度為 0.0032 公分，並無質點的波峰較明顯可區別(圖 5-21-b)。在同樣的風力下，外網的振幅以 C5 的 0.0048 公分為最大，其大小為  $C5 > C1 > C2 > C3 > C4$ (圖 5-22-c)。外圈橫絲的 D 群質點振動幅度為  $D3 > D4 > D1 > D2$ ，以 D3 的 0.0056 公分振幅為最大(圖 5-22-d)，但波峰則是 D1 的 0.026 公分，與振幅最大的質點不同(圖 5-2-d)。內圈橫絲質點振動幅度： $E3 > E4 > E1 > E2$ ，其振動幅度以 E3 的幅度 0.0082 公分最大(圖 5-21-e)。中心點的波峰位於 12.37 秒的 0.0051 公分，其平均振幅為 0.0018 公分(圖 5-21-f)。

## 6. 蠶絲仿生金蛛蛛網：具直線隱帶風吹振動模式

實驗過程中，總共記錄了 20 秒金蛛仿生網受風力振動的情形，使用 tracker 軟體分析，每 1/3 秒記錄一次質點的位置，以此方式計算質點的振動幅度，牽引絲、連接點、外網、外圈橫絲、內圈橫絲的振動模式(圖 5-23)。Y 軸座標單位：cm，X 軸座標單位：秒。

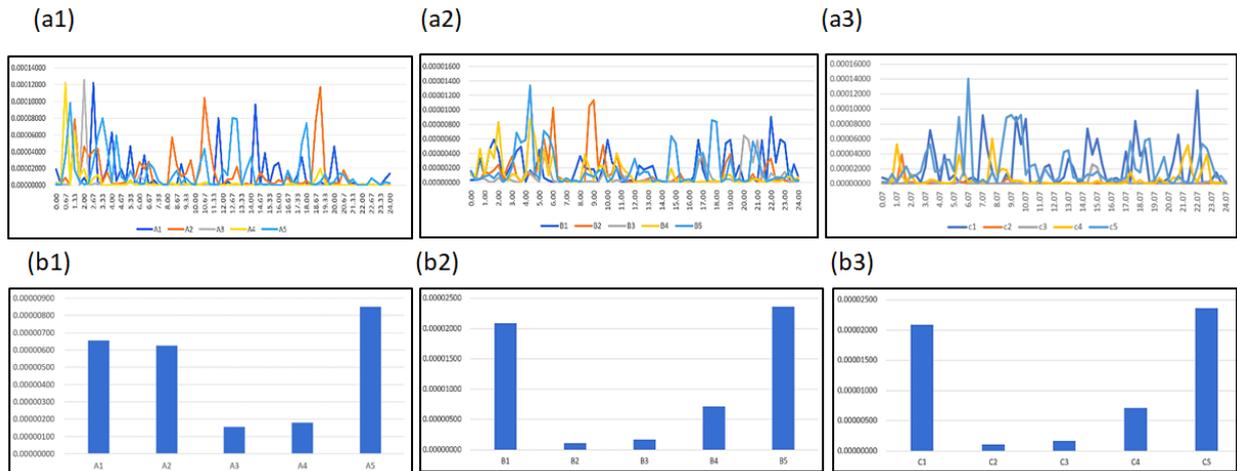


圖 5-23 仿生金蛛網具直線隱帶蛛網各部位質點的振動模式及振動幅度：

振動模式：(a1)牽引絲 (a2)連接點 (a3)外網      振動幅度：(b1)牽引絲 (b2)連接點 (b3)外網

進一步分析每一個質點的振動幅度，可看出牽引絲的 A 群質點其振動幅度： $A2 > A5 > A1 > A4 > A3$ (圖 5-23-b1)，且無質點的波峰可明顯與其他區別(圖 5-23-a1)。在連接點振動中，振動幅度： $B5 > B1 > B2 > B4 > B3$ (圖 5-23-b2)，雖振動模式毫無規律，但仍可看出 B5 的 0.000013 公分為波峰(圖 5-23-a2)。在同樣的風力下，外網的振幅以 C5 的 0.000023 公分為最大，大小為  $C5 > C1 > C4 > C3 > C2$ (圖 5-23-b3)。

## 7. 蠶絲仿生金蛛蛛網：不具隱帶風吹振動模式

實驗過程中，總共記錄了 20 秒金蛛仿生網受風力振動的情形，使用 tracker 軟體分析，每 1/3 秒記錄一次質點的位置，以此方式計算質點的振動幅度，牽引絲、連接點、外網、外圈橫絲、內圈橫絲的振動模式(圖 5-24)。Y 軸座標單位：cm，X 軸座標單位：秒。

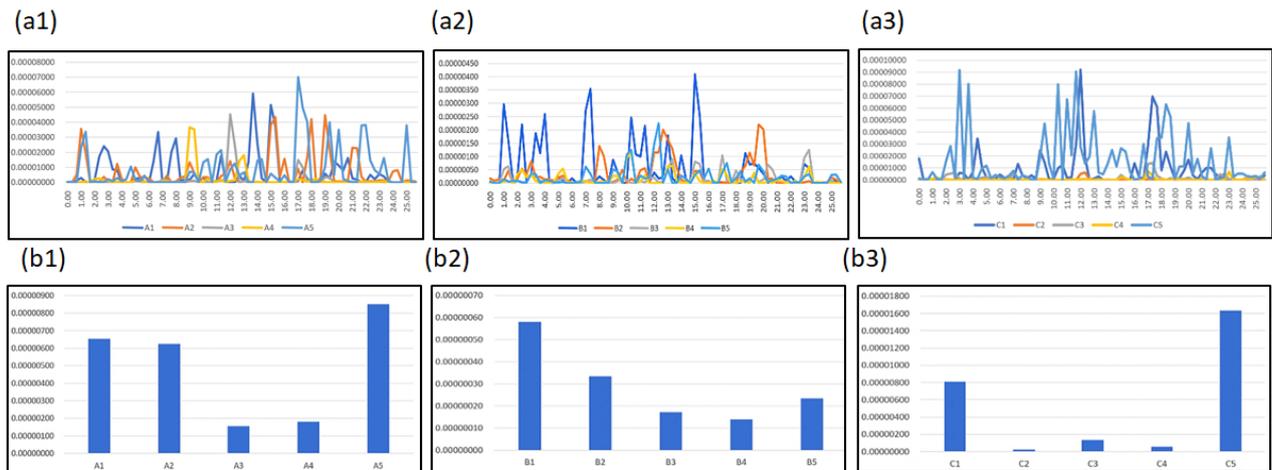


圖 5-24 仿生金蛛網不具隱帶蛛網各部位質點的振動模式及振動幅度：

振動模式：(a1)牽引絲 (a2)連接點 (a3)外網      振動幅度：(b1)牽引絲 (b2)連接點 (b3)外網

## 8. 蠶絲仿生金蛛蛛網：具十字隱帶風吹振動模式

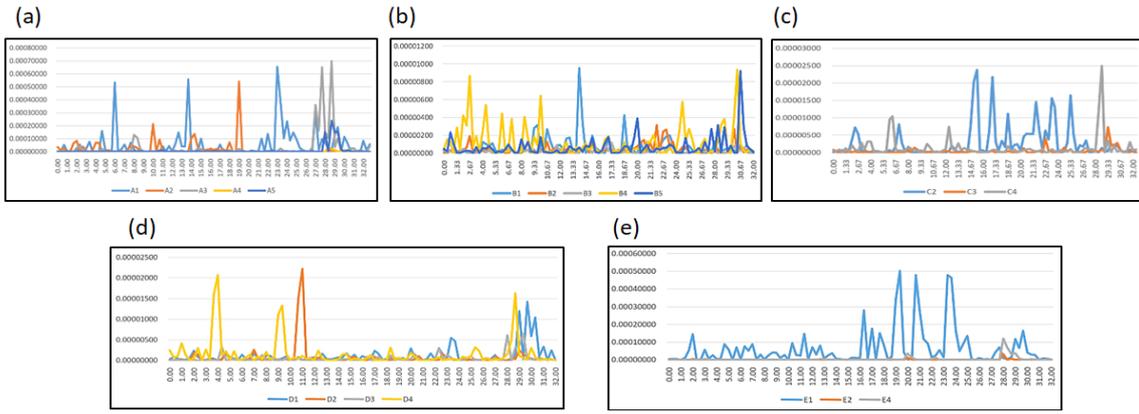


圖 5-25 仿生金蛛網具十字隱帶蛛網各部位質點的振動模式：(a)牽引絲 (b)連接點 (c)外網 (d)外圈橫絲 (e)內圈橫絲

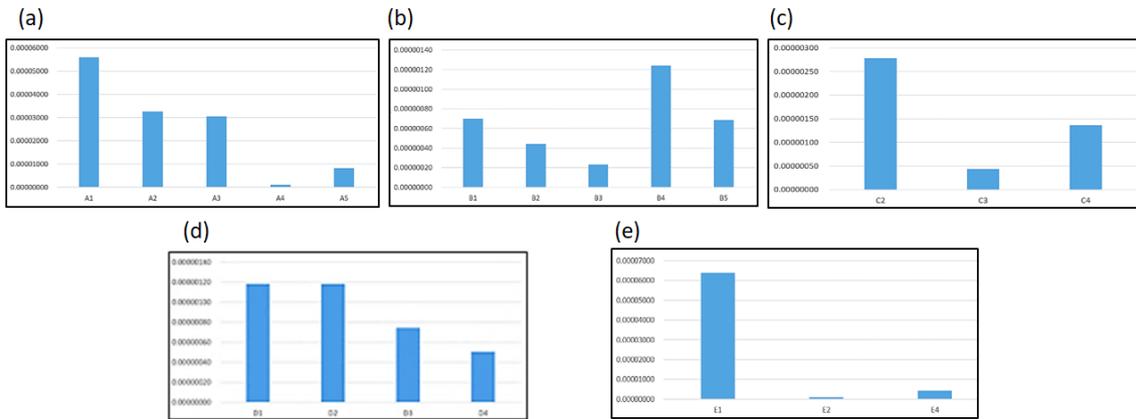


圖 5-26 仿生金蛛網具十字隱帶蛛網各部位質點的振動幅度 (a)牽引絲 (b)連接點 (c)外網 (d)外圈橫絲 (e)內圈橫絲

## 9. 蠶絲仿生金蛛蛛網獵物振動模式

在獵物撞擊仿生網的實驗中，分別以牽引絲、連接點、外網、外圈橫絲及內圈橫絲當作觀測點，但版面有限，故在此僅呈現連接點的結果，因連接點為支撐全網的牽引絲及網面的重要接點，可觀察到部分蛛網的振動情形。以下呈現無隱帶的完整結果。Y 軸座標單位：cm，X 軸座標單位：秒。

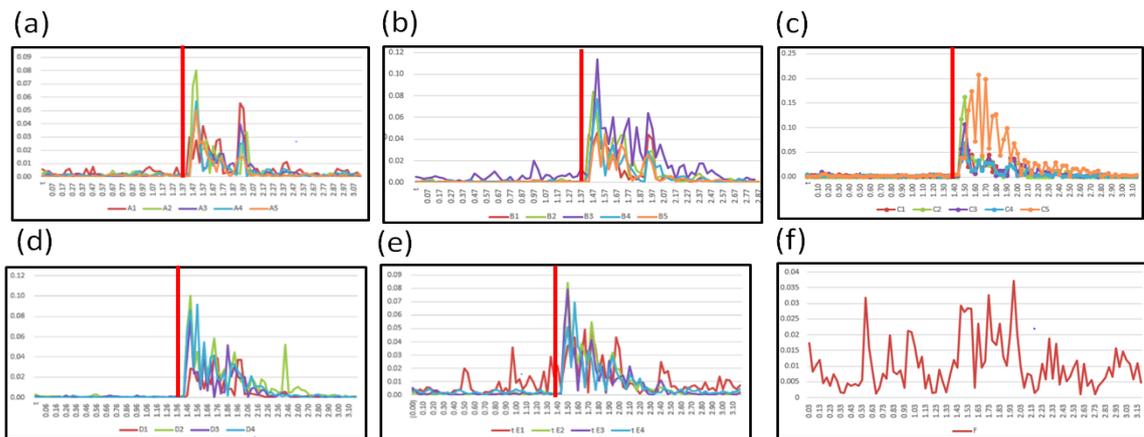


圖 5-27 撞擊仿生釣魚線網具十字隱帶的中心點各部位質點振動模式：

(a)牽引絲 (b)連接點 (c)外網 (d)外圈橫絲 (e)內圈橫絲 (f)中心點

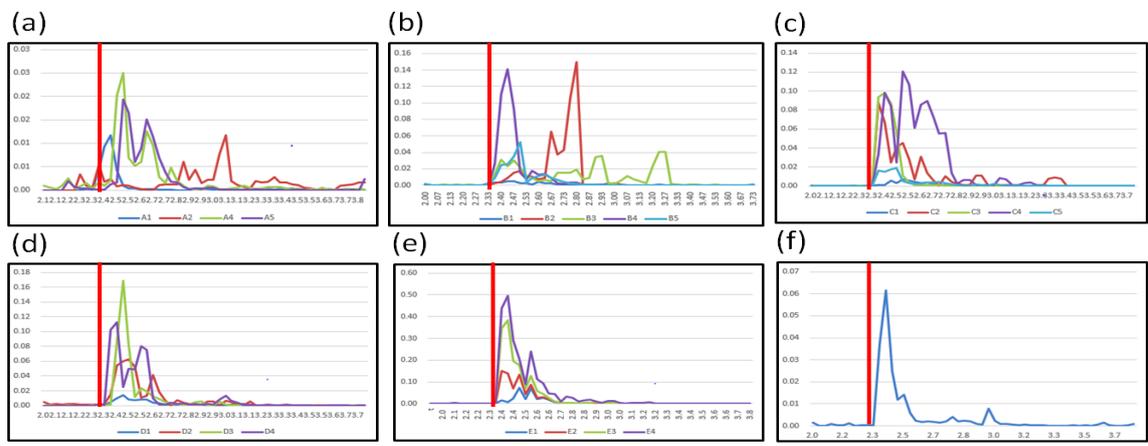


圖 5-28 撞擊仿生蠶絲網具十字隱帶的中心點各部位質點振動模式：

(a)牽引絲 (b)連接點 (c)外網 (d)外圈橫絲 (e)內圈橫絲 (f)中心點

進一步分析每個質點的振動，比較仿生釣魚線網及仿生蠶絲網。在牽引絲的 A 群振動中，釣魚線網波峰為 A2 的 0.079 公分，蠶絲網則是 A4 的 0.025 公分，可明顯看出蠶絲網振動幅度小於釣魚線網(圖 5-27-a、圖 5-28-a)。在內圈橫絲振動中，釣魚線網振幅最大為 E2，其波峰為 0.083 cm，較牽引絲的波峰大；在蠶絲網中振幅最大的則是 E4 的 0.112 cm，為此圖的波峰，其振幅同樣較牽引絲時大(圖 5-27-e、圖 5-28-e)。Y 軸座標單位：cm，X 軸座標單位：秒。

### 10. 蠶絲仿生金蛛蛛網獵物振動模式

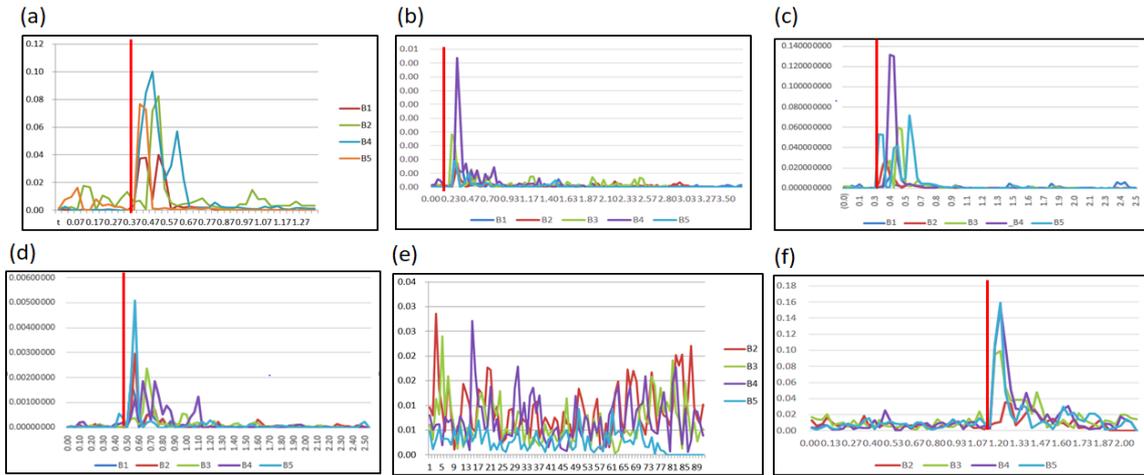


圖 5-29 撞擊仿生蠶絲網具疏隱帶各部位質點振動模式：(a)中心點 (b)內圈橫絲 (c)外圈橫絲 (d)外網 (e)連接點 (f)牽引絲

從撞擊中心點的圖表中可以看出當仿生網接受模擬獵物撞擊時，震幅會瞬間增加，此圖的波峰為 B4 的 0.0009 cm，振動幅度極小。且撞擊連接點時，並無規律可言。

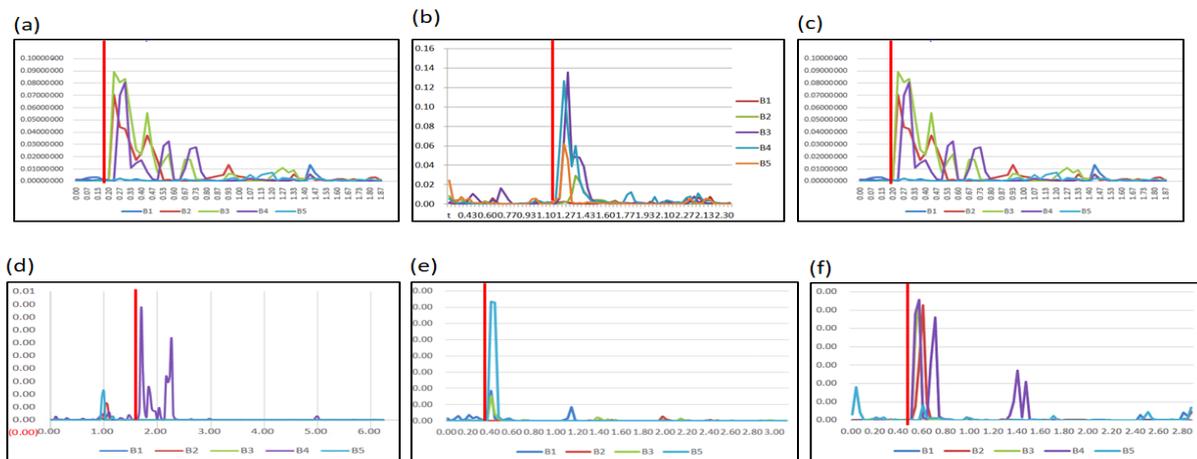


圖 5-30 撞擊仿生蠶絲網具直線型隱帶各部位質點振動模式：(a)中心點 (b)內圈橫絲 (c)外圈橫絲 (d)外網 (e)連接點 (f)牽引絲

圓球撞擊中心點後的振動模態最高峰為 B3 的 0.082 公分，在撞擊後約 0.8 秒時振動幅度逐漸減少(圖 5-30-a)。而在撞擊外圈橫絲時其振動模態的波峰同樣是 B3，但振幅降低為 0.051 公分(圖 5-30-c)。

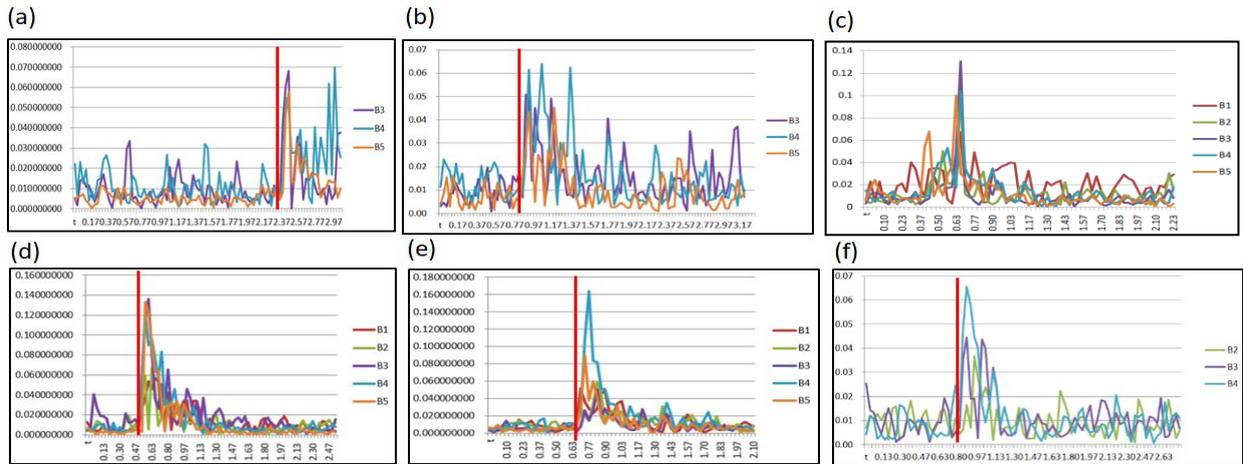


圖 5-31 撞擊仿生蠶絲網不具隱帶各部位質點振動模式：(a)中心點 (b)內圈橫絲 (c)外圈橫絲 (d)外網 (e)連接點 (f)牽引絲  
與前面兩種隱帶相比，不具隱帶的仿生蛛網不管撞擊哪一點，振動幅度皆大，且持續振動的時間較長。在圓球撞擊中心點及內圈橫絲時，其振動模態毫無規律，且振幅變小狀態不明顯(圖 5-31-a、5-31-b)。

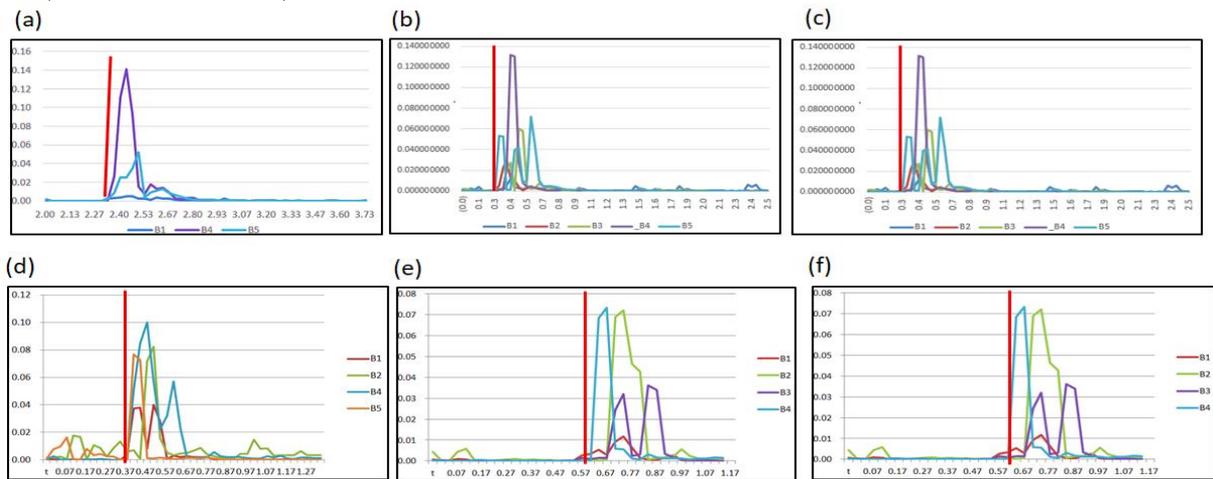


圖 5-32 撞擊仿生蠶絲網具十字型隱帶各部位質點振動模式：(a)中心點 (b)內圈橫絲 (c)外圈橫絲 (d)外網 (e)連接點 (f)牽引絲  
從上圖中可看出，當圓球撞擊中心點、外圈橫絲及外網時，皆有其一質點波峰特別高，其波峰分別為 0.14、0.131 及 0.084 cm，而大部分皆在撞擊到網面後約 0.4 秒漸漸減少振幅(圖 5-32-a、5-32-c、5-32-d)。

### 11. 釣魚線仿生金蛛蛛網獵物振動模式

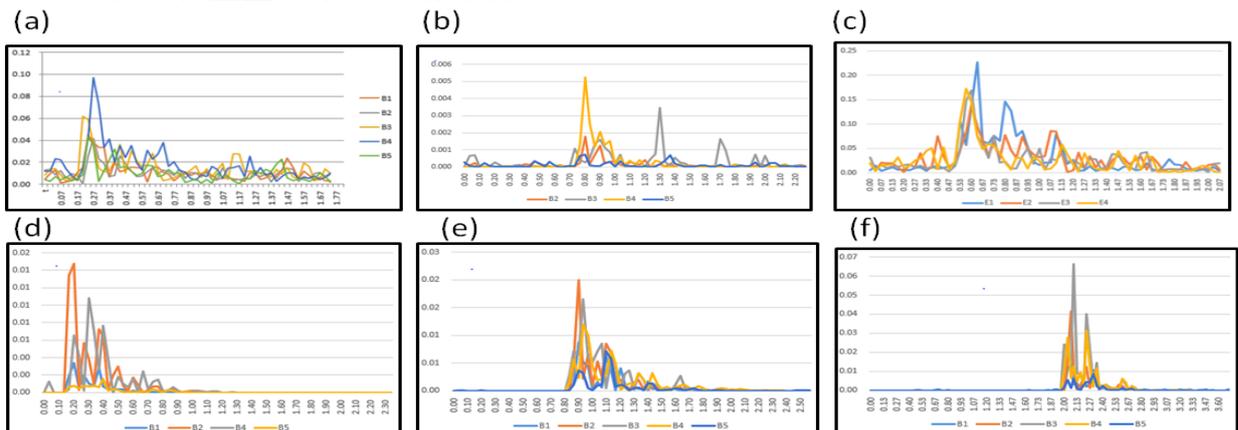


圖 5-33 撞擊仿生釣魚線網具疏隱帶各部位質點振動模式：(a)中心點 (b)內圈橫絲 (c)外圈橫絲 (d)外網 (e)連接點 (f)牽引絲

在撞擊中心點後，質點的平均振幅有隨著時間下降的趨勢，而此圖的波峰為 B4 的 0.041cm，與蠶絲仿生網的 0.0012 cm 相比，振動幅度較大。

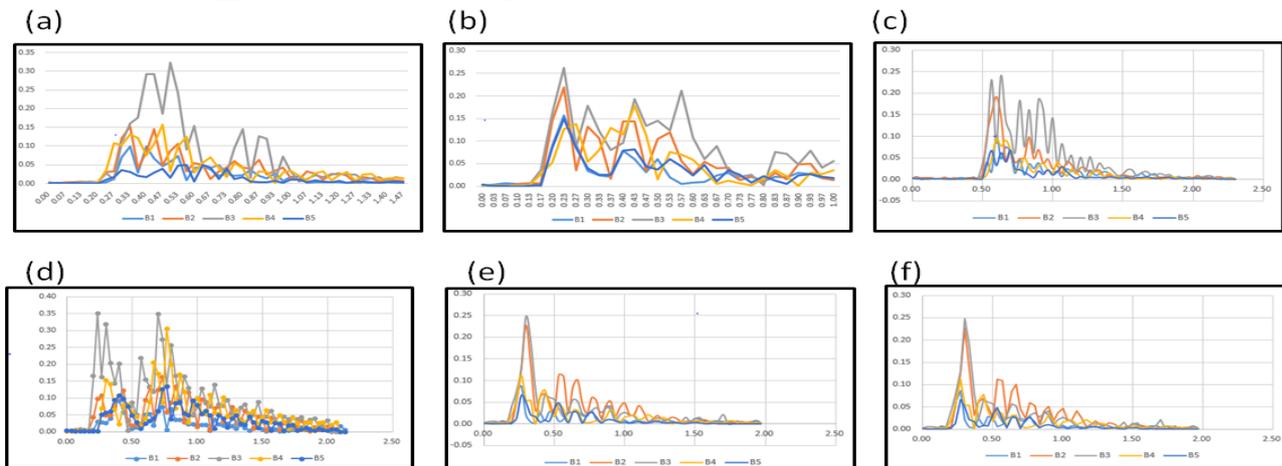


圖 5-34 撞擊仿生釣魚線網具直線型隱帶各部位質點振動模式：(a)中心點 (b)內圈橫絲 (c)外圈橫絲 (d)外網 (e)連接點 (f)牽引絲

圓球撞擊中心點時，無法從中得知規律，除了 B3 以外的質點並無太大的起伏，撞擊內圈橫絲時亦是如此(圖 5-34-a、5-34-b)。而撞擊外圈橫絲時，振動模式的波峰為 B3 的 0.2402，與蠶絲具直線型隱帶的仿生網相比，振動幅度較大。

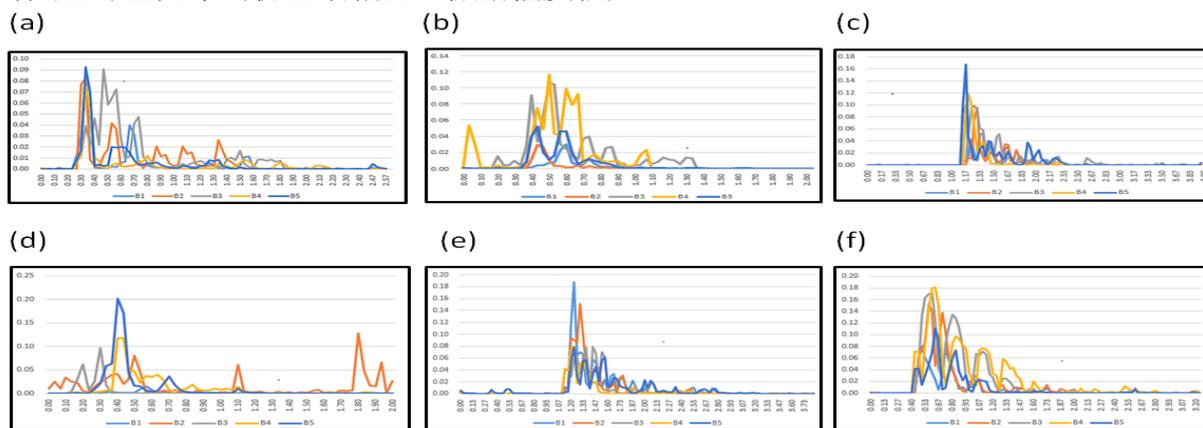


圖 5-35 撞擊仿生釣魚線網不具隱帶各部位質點振動模式：(a)中心點 (b)內圈橫絲 (c)外圈橫絲 (d)外網 (e)連接點 (f)牽引絲

在圓球撞擊到網面時的振動以 B1 外圈橫絲及連接點的振動模的 0.084 cm 為最大，但振動似乎並無規律，十分的不穩定。而撞擊態隨著能量的消逝而減少振動的幅度。

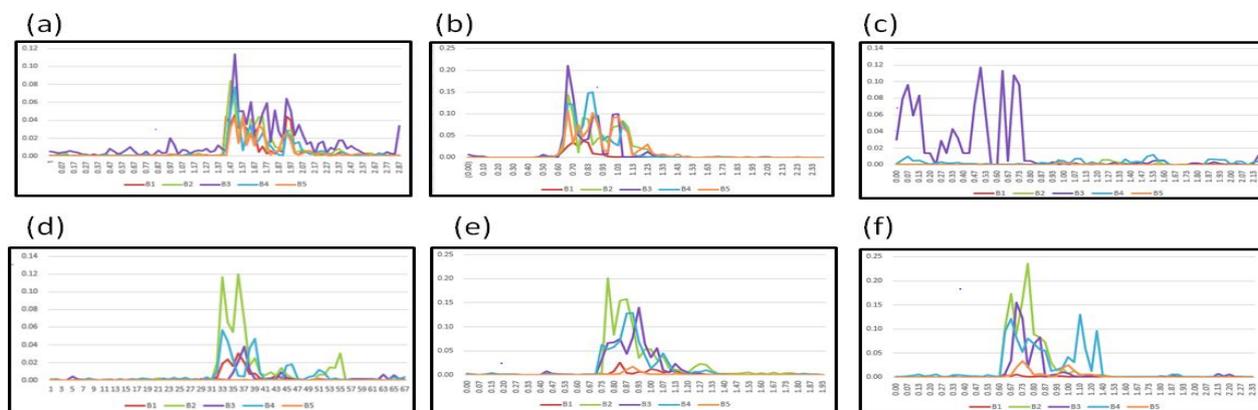


圖 5-36 撞擊仿生釣魚線網十字型隱帶各部位質點振動模式：(a)中心點 (b)內圈橫絲 (c)外圈橫絲 (d)外網 (e)連接點 (f)牽引絲

以圓球撞擊仿生網中心點時，可看出振動模態以 B3 的 0.235 cm 為波峰，與蠶絲仿生網的 0.14 cm 相比，振幅仍然大了許多。

## 12. 不同形狀之仿生隱帶對模擬仿生網的穩固性比較

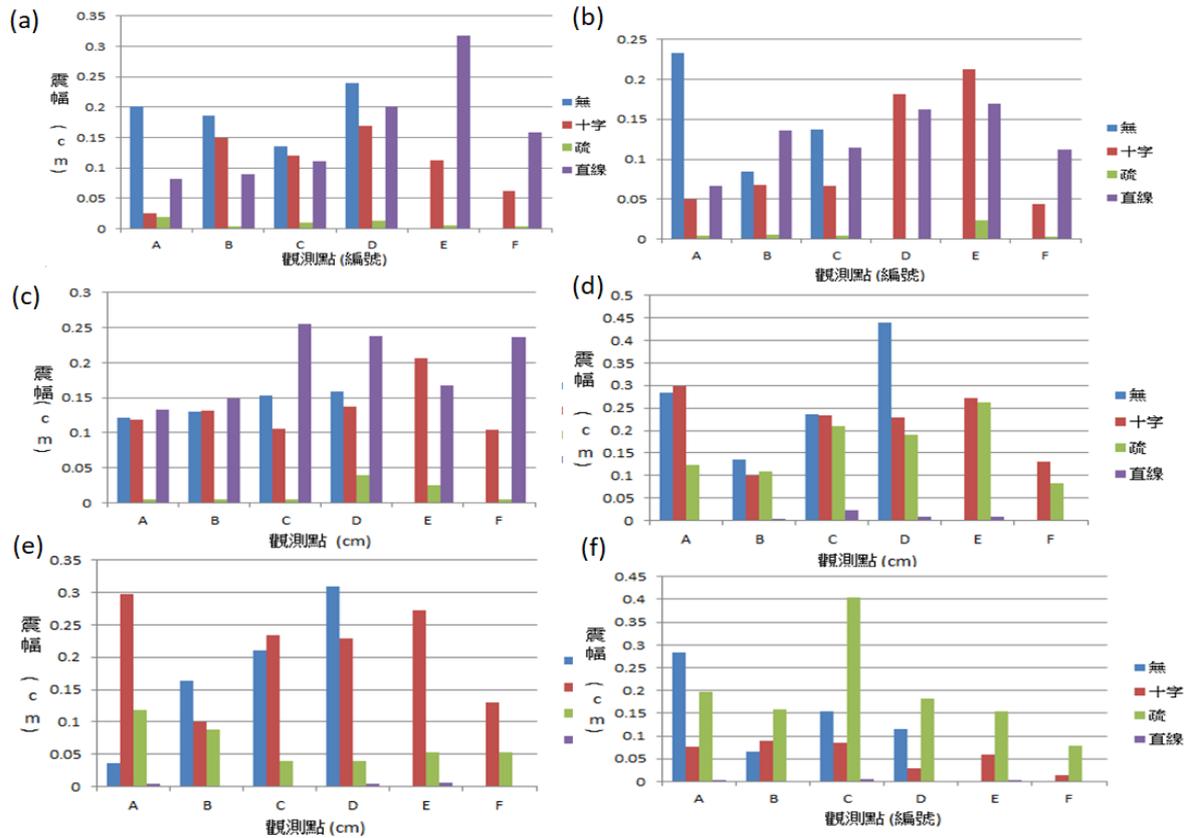


圖 5-37 蠶絲仿生金蛛網具不同仿生隱帶之震幅比較

(a)中心點 (b)內圈橫絲 (c)外圈橫絲 (d)外網 (e)連接點 (f)牽引絲

撞擊在中心點時，疏隱帶振幅最小。撞擊在內圈橫絲時，疏隱帶振幅最小。撞擊在外圈橫絲時，直線形密隱帶振幅最小。撞擊在外網時，直線形密隱帶振幅最小。撞擊在連接點時，十字形密隱帶振幅最小。撞擊在牽引絲時，直線形密隱帶振幅最小。

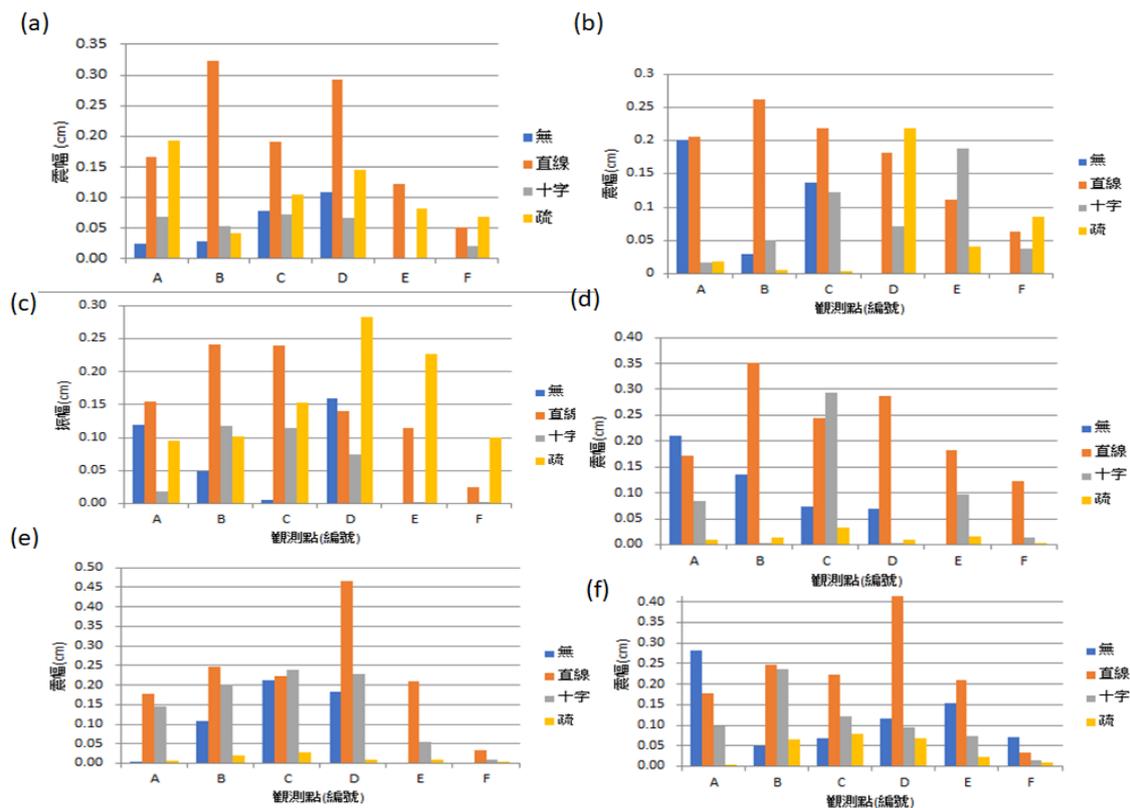


圖 5-38 釣魚線仿生金蛛網具不同仿生隱帶之振幅比較

(a)中心點 (b)內圈橫絲 (c)外圈橫絲 (d)外網 (e)連接點 (f)牽引絲

撞擊在中心點時，十字隱帶振幅最小。撞擊在內圈橫絲時，十字隱帶振幅最小。撞擊在外圈橫絲時，十字密隱帶振幅最小。撞擊在外網時，疏隱帶振幅最小。撞擊在連接點時，疏隱帶振幅最小。撞擊在牽引絲時，疏隱帶振幅最小。

## 陸、 討論

### 一、探討校園金蛛分布與棲息環境之間的相關性

- (一) 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。
- (二) 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，早成相關性結果不同，兩者相關性皆高。
- (三) 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。今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。
- (四) 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，且因其中間並無連接，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

- (一) 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。

- (二)在顯微觀察中發現疏隱帶的形狀及構造較簡單，推測疏隱帶為經驗較不足之金蛛所結，而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)在反射光譜研究中，發現密隱帶與玻片的波形、反射波長相似，在分布調查實驗中，觀察到金蛛多在窗戶上結網，可將窗戶視為玻片，若在窗戶上結密隱帶，其反射光譜與窗戶相似，故推測密隱帶並無吸引昆蟲的功能。但疏隱帶與兩者皆不同，在受到太陽光照射時，疏隱帶反射光譜與窗戶相異，且金蛛結隱帶時並不會用疏隱帶包覆住身體，可以推測疏隱帶較無阻止天敵的功能，但能夠藉由反射光吸引昆蟲捕食。但目前光譜仍可能受到單片玻片影響，故希望未來能夠去除玻片並拍攝紫外光的光譜。

### 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

(一) 比較四種釣魚線仿生金蛛網有無隱帶受風吹的振動模式

1. 在仿生的金蛛網中，實驗四種不同形式隱帶的金蛛網，其比較結果如圖 6-1：

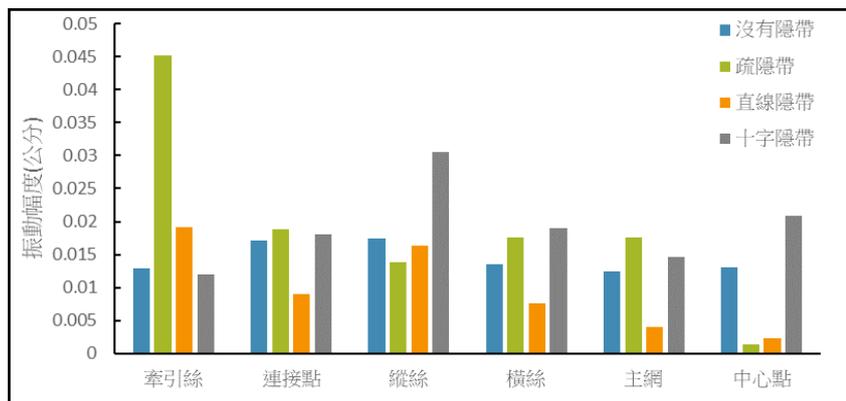


圖 6-1 四種釣魚線仿生金蛛網不同部位振動幅度

2. 以牽引絲來看，振動幅度最大的為疏隱帶金蛛網；以連接點來看，以直線蛛網的振動幅度最小；以縱絲來看，十字隱帶的振動幅度最大；以橫絲來看，直線隱帶的振動幅度最小，其他仿生網差異不大；以主網來看，直線隱帶的振動幅度最小，其他仿生網差異不大；而中心點來看，十字隱帶的振動幅度最大。顯示不同蛛網的不同部位的振動大小不一。若以各蛛網的平均振動幅度來看，十字隱帶(0.02cm) > 沒有隱帶(0.016cm) > 直線隱帶(0.008cm)。推測在風吹的狀態下，直線隱帶的較為對稱，且在主網時增加的重量不至於太多，因此其振動幅度最為適當。

(二) 比較四種釣魚線仿生金蛛蛛網有無隱帶受模擬獵物撞擊的振動模式

1. 在仿生金蛛網中，四種形式隱帶的金蛛網比較結果如圖 6-2。而圖中是 4 種面下，B 組觀測點中震動最高點所受到在 6 個撞擊點撞擊的震動圖表。

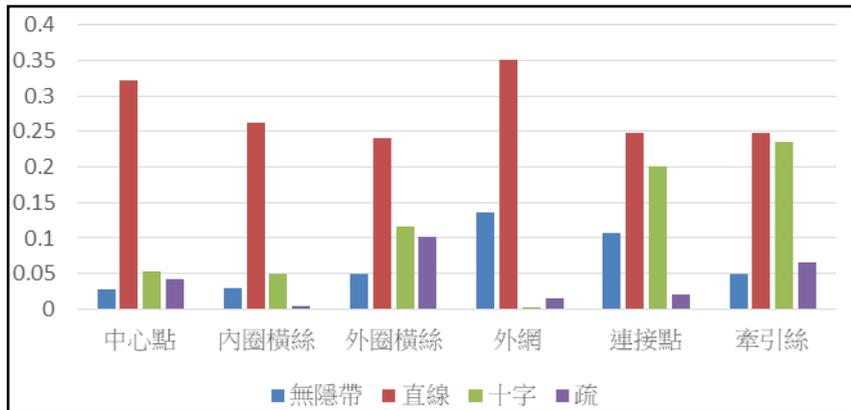


圖 6-2 四種釣魚線仿生金蛛蛛網不同部位振動幅度

2. 在所有不同撞擊點的撞擊下，都以直線隱帶網面的震動最大，次之多為十字隱帶網面，第三和第四大為疏和無隱帶交替振動最小。若以各蛛網的平均振動幅度來看，直線帶(0.283cm) > 十字隱帶(0.091cm) > 無隱帶(0.065cm) > 疏隱帶(0.043cm)。

(三) 比較四種蠶絲仿生金蛛蛛網有無隱帶受風吹的振動模式

1. 在仿生的金蛛網中，實驗四種不同形式隱帶的金蛛網，其比較結果如圖 6-3

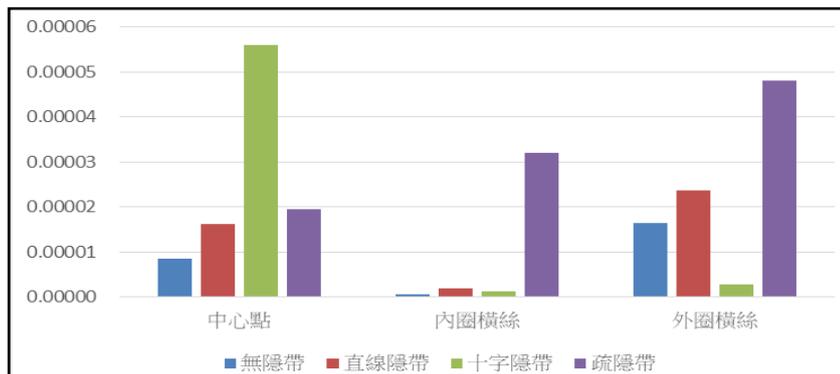


圖 6-3 四種蠶絲仿生金蛛蛛網不同部位振動幅度比較

2. 以牽引絲來看，振動幅度最大的為十字隱帶蛛網；以內圈橫絲來看，疏隱帶蛛網的振動幅度最大；以外圈橫絲來看，疏隱帶的振動幅度最大。以上顯示不同蛛網的不同部位的振動大小不一。若以各蛛網的平均振動幅度來看，無隱帶(0.000079cm) > 直線隱帶=疏隱帶(0.000034cm) > 十字隱帶(0.000035cm)。

(四) 比較四種蠶絲仿生金蛛蛛網有無隱帶受模擬獵物撞擊的振動模式

1. 在仿生的金蛛網中，實驗四種不同形式隱帶的金蛛網，其比較結果如圖 6-4。

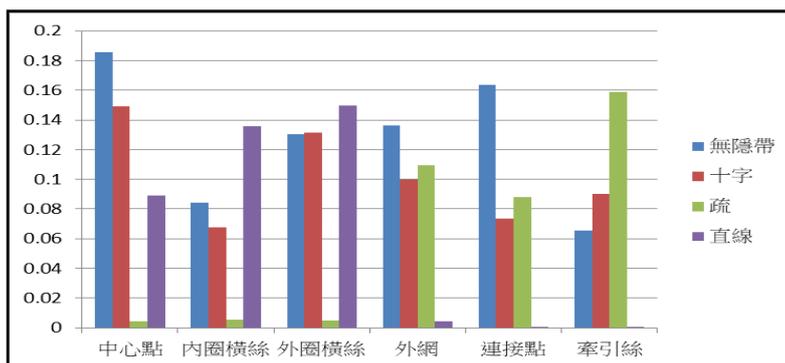


圖 6-4 四種不同仿生金蛛蛛網不同部位振動幅度比較

2. 以中心點來看，振動幅度最大的為無隱帶金蛛網；以內圈橫絲來看，以直線蛛網的振動幅度最大；以外圈橫絲來看，疏隱帶的振動幅度最小；以外網來看，直線隱帶的振動幅度最小，以連接點來看，無隱帶的振動幅度最大；而連接點來看，疏隱帶的振動幅度最大。若以各蛛網的平均振動幅度來看，無隱帶(0.1266cm)>直線隱帶(0.1008cm)>疏隱帶=十字隱帶(0.0608cm)。

#### (五) 比較蠶絲仿生金蛛蛛網和釣魚線仿生金蛛蛛網的振動

蠶絲仿生金蛛蛛網比起釣魚線仿生金蛛蛛網受到撞擊或風吹下，整體振動大小小了很多，推測是因為蠶絲仿生網材質更接近真實蛛絲，使整體穩固效果較好。

- #### (六) 從獵物撞擊仿生網實驗，四種不同隱帶的釣魚線仿生網，不論是哪一個撞擊點，其振動幅度最大都以直線密隱帶為主，其他隱帶的仿生網振動幅度都較小。顯示在釣魚線的仿生網上，直線密隱帶最不穩固。從獵物撞擊仿生網實驗，四種不同隱帶的蠶絲仿生網，其網上六個觀測點的振動幅度，一致性不高。比如撞擊中心點時，疏隱帶的振動幅度最小，而直線密隱帶的振動幅度最大；撞擊外圈橫絲時，直線型密隱帶的振動幅度最小，無隱帶的蠶絲仿生網振動幅度最大。顯示不同的撞擊點，不同隱帶的蠶絲仿生網其不同位置的振動的幅度不同。釣魚線的實驗結果較蠶絲穩定，推測釣魚線為人工有機絲線，其穩固性高，因此在進行撞擊實驗時，振動的狀況穩定。而蠶絲為生物的蛋白質絲線，較接近蛛絲的材質，在實驗過程中可能因為環境的關係逐漸毀壞分解，也因此導致實驗的結果一致性較低。而天然的蜘蛛網，會有蜘蛛不停地維護維持架構，因此即使蛛網不斷受到獵物或是捕食者撞擊，都可以進行修補，維持網面。在學校的研究區域，長時間觀察到一隻中型金蛛，原本開始結網具有十字形隱帶，後來逐漸修補網面後，變成無隱帶蛛網，也充分顯示出野生金蛛面對環境的彈性織網。蠶絲的材質與蛛絲較接近，其振動幅度與天然蛛網較接近，而釣魚線結構穩固，若以不同結構隱帶來看，其穩定性佳，較能歸納出不同蛛網模式。

## 四、未來展望

探究的過程中，研究金蛛長達一年的時間，對於金蛛深感興趣。研究中使用兩種材質仿生金蛛蛛網，其振動模式有助於在輕型結構中研發，例如防墜網。此外不一樣的動能模擬，以及在蛛網上緩衝的撞擊物動能，都是未來趣味的研究。而不一樣的仿生網材質更是吸引人，吸引我們想要更深入的研究。

## 柒、 結論

### 一、 探討校園金蛛分布與棲息環境之間的相關性

- (一) 中型及長圓金蛛隱帶種類受人工環境下照度及風速的影響，而野外環境對金蛛影響甚小。
- (二) 金蛛體長與隱帶長呈正相關，且長圓金蛛與中形金蛛隱帶長度受到氣壓的影響相反。在冬天時金蛛數量增加，分布面積變廣。
- (三) 探討隱帶的不同形狀:
  1. 密隱帶：Y型、彎曲型、直線；疏隱帶： T型；皆有形狀：十字、直線中斷式。
  2. 觀察到的比例以密直線最高，十字型其次。

### 二、 研究金蛛隱帶之生態功能

### (一) 隱帶結構研究野外隱帶結構分析

#### 1. 隱帶詳細資料

- (1) 隱帶間絲線角度由外向內遞減。
- (2) 隱帶上邊和下邊空隙間距長度皆，為由外向內遞增。
- (3) 四邊的隱帶長度以左下的最長，右上最短。
- (4) 隱帶間夾角角度相近，且相加後為357度，幾乎成一個正圓

#### 2. Tinkercad模型與隱帶照片之結構分析

疏隱帶有三個特徵：(1)隱帶絲線角度靠近網眼會趨緩 (2)外圈的第一條隱帶絲線為其他絲線寬度兩倍 (3)每條絲線的中間會觀察到一小條縱向垂直輔助線。

### (二) 隱帶顯微結構觀察

1. 疏隱帶多為直線型，絲線間面積近四邊形
2. 密隱帶多為十字型，網眼處和足部放置區有疏密差異。

### (三) 定義疏密

以絲線面積所佔的比例區分疏密。密隱帶： $> 88.5\%$ ；模糊地帶： $60.5\% \sim 88.5\%$ ；疏隱帶： $< 60.5\%$

### (四) 隱帶反射光譜研究

1. 各種物品對光的反射能力(亮度)依大至小分別為密隱帶  $>$  疏隱帶  $>$  玻片。
2. 對光的主要反射顏色峰值：玻片為綠色及橙色，密隱帶為綠色及橙色，疏隱帶為橙色及藍色。

## 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

### (一) 探討蛛網結構

蛛網分為內圈橫絲、外圈橫絲、縱絲、外網、連接點及牽引絲。

### (二) 測量蛛絲直徑

1. 牽引絲  $>$  外網  $>$  外圈橫絲  $>$  內圈橫絲。
2. 蛛絲直徑由外區域向內區域遞減。

### (三) 探討仿生隱帶對仿生金蛛網振動影響

#### 1. 仿生金蛛網風吹振動模式----釣魚線仿生網疏隱帶

(1)每一個質點群的振動幅度：牽引絲(A)： $A_4 > A_3 > A_1 > A_5 > A_2$

連接點(B)： $B_3 > B_4 > B_2 > B_5 > B_1$  外網(C)： $C_2 > C_1 > C_5 > C_3 > C_4$

外圈橫絲(D)： $D_1 > D_2 > D_4 > D_3$  內圈橫絲(E)： $E_2 > E_4 > E_3 > E_1$

(2)各部位振動幅度：牽引絲  $>$  連接點  $>$  縱絲  $>$  外圈橫絲 = 內圈橫絲  $>$  中心點

#### 2. 仿生金蛛網風吹振動模式----釣魚線仿生網直線隱帶：

(1)每一個質點群的振動幅度：牽引絲(A)： $A_4 > A_5 > A_2 > A_3 > A_1$

連接點(B)： $B_4 > B_2 > B_3 > B_1 > B_5$  外網(C)： $C_4 > C_1 > C_3 > C_2 > C_5$

外圈橫絲(D)： $D_1 > D_3 > D_4 > D_2$  內圈橫絲(E)： $E_1 > E_4 > E_3 > E_2$

- (2)各部位振動幅度： 牽引絲>縱絲>連接點>橫絲>主網>中心點
3. 仿生金蛛蛛網風吹振動模式----蠶絲仿生網疏隱帶：
    - (1)每一個質點群的振動幅度： 牽引絲(A) :  $A_3 > A_2 > A_4 > A_1 > A_5$   
 連接點(B) :  $B_2 > B_5 > B_1 > B_4 > B_3$  外網(C) :  $C_5 > C_1 > C_2 > C_3 > C_4$   
 外圈橫絲(D) :  $D_3 > D_4 > D_1 > D_2$  內圈橫絲(E) :  $E_3 > E_4 > E_1 > E_2$
  4. 仿生金蛛蛛網風吹振動模式----蠶絲仿生網直線隱帶：
    - (1)每一個質點群的振動幅度： 牽引絲(A) :  $A_2 > A_5 > A_1 > A_4 > A_3$   
 連接點(B) :  $B_5 > B_1 > B_2 > B_4 > B_3$  外網(C) :  $C_5 > C_1 > C_4 > C_3 > C_2$
  5. 仿生金蛛蛛網風吹振動模式----蠶絲仿生網不具隱帶：
    - (1)每一個質點群的振動幅度： 牽引絲(A) :  $A_2 > A_5 > A_1 > A_4 > A_3$   
 連接點(B) :  $B_5 > B_1 > B_2 > B_4 > B_3$  外網(C) :  $C_5 > C_1 > C_4 > C_3 > C_2$
  6. 仿生金蛛蛛網風吹振動模式----蠶絲仿生網十字型隱帶：
    - (1)每一個質點群的振動幅度： 牽引絲(A) :  $A_3 > A_2 > A_1 > A_5 > A_4$   
 連接點(B) :  $B_4 > B_1 > B_5 > B_2 > B_3$  外網(C) :  $C_2 > C_4 > C_3$   
 外圈橫絲(D) :  $D_1 > D_2 > D_3 > D_4$  內圈橫絲(E) :  $E_3 > E_4 > E_2$ 。
  7. 仿生金蛛蛛網獵物振動模式  
 蠶絲網振動幅度小於釣魚線網。且仿生網接受模擬獵物撞擊時，振幅瞬間增加。
  8. 仿生金蛛蛛網獵物振動模式----蠶絲仿生網疏隱帶：  
 仿生網接受模擬獵物撞擊時，振幅會瞬間增加，振動幅度極小。
  9. 仿生金蛛蛛網獵物振動模式----蠶絲仿生網直線隱帶：  
 同質點遭撞擊中心點後的振幅為 B3 的 0.082 公分，外圈橫絲時振幅降低為 0.051 公分。同質點會因撞擊部位不同而振幅有所改變。
  10. 仿生金蛛蛛網獵物振動模式----蠶絲仿生網無隱帶：  
 不管撞擊哪一點，振動幅度皆大，持續振動時間長。
  11. 仿生金蛛蛛網獵物振動模式----蠶絲仿生網十字型隱帶：  
 撞擊到網面後約 0.4 秒漸漸減少振幅。
  12. 仿生金蛛蛛網獵物振動模式----釣魚線仿生網疏隱帶：  
 在撞擊中心點後，質點的平均振幅隨著時間下降的趨勢，振動幅度較蠶絲網大。
  13. 仿生金蛛蛛網獵物振動模式----釣魚線仿生網直線型與十字型隱帶：  
 與蠶絲具相同類型隱帶的仿生網相比，振動幅度較大。
  14. 仿生金蛛蛛網獵物振動模式----釣魚線仿生網無隱帶：  
 振動無規律且不穩定。振動模態隨著能量消逝而減少振動的幅度。
  15. 不同形狀之仿生隱帶對模擬仿生網的穩固性比較  
 振動幅度:無隱帶>直線型隱帶>十字形密隱帶>疏隱帶。  
 疏隱帶為穩固效果最好的，研究顯示有仿生隱帶支撐仿生網可減少振幅。

## 捌、參考資料及其他

- 一、許捷宜(2018)。圓網波瀾－圓網結構之振盪模態影像分析。2018 年台灣國際科展展覽會。
- 二、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。
- 三、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。
- 四、潘昱瑄、陳彥叡、江亞霖(2015 年)。夏綠蒂 2D 和 3D 的世界。中華民國第 55 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 五、潘冠竹、甘瑀涵、楊子毅(2019 年)。「蜘蛛」來「織「趣」-大姬蛛不規則網之拓撲探究。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 六、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。全國中小學科展作品第 57 屆。
- 七、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
- 八、Catherine, L. C. & Gary, D. B. (1990). Insect attraction to ultraviolet-reflecting spider webs and web decorations. *Ecology*, 71(2): 616-623.
- 九、Eisner, T. (2008)。眷戀昆蟲。外語教學與研究出版社。
- 十、Russell, S. A. (2016)。花朵的秘密生命。貓頭鷹出版社。
- 十一、Walter, A. (2019): Silk decorations in Argiope spiders: Consolidation of pattern variation and specific signal function. *Journal of arachnology* 472:271-275.  
<https://doi.org/10.1636/JoA-S-18-013>

## 【評語】 030305

1. 利用長達一年的時間研究金蛛，從捕蟲、自製光譜裝置、自製仿生網及各種假設檢定，都是不錯的點子。
2. 本研究為一個生態調查分析研究，以校園金蛛所結的隱帶作為研究素材，進行仿生模擬分析哪一種隱帶結構的耐震度較高及其穩固效果。
3. 本研究的數據記錄完善，實驗中以不同的素材模仿金蛛隱帶結構來分析特定結構的作法是一個不錯的策略，這一類的仿生研究有時在實際應用上有很大的潛力。在觀察蛛網結構的過程中，若能針對其中發現更進一步設計出更具有優勢的輕型網狀結構，結果會更有影響力。
4. 實驗中大量使用儀器測量不同隱帶的質點振動模式，也獲取相當多的實驗數據，但是這些數據如何歸納與統整仍須加強。建議增加分析實驗中不同變因之間的交互關係，並加強研究不同材質作為仿生結構測試中間所帶來的變異。
5. 本作品透過觀察陳述蜘蛛網上隱帶的形態與反光特性，在透過仿生的模擬，簡化因子，驗證隱帶的功能，整體研究完成度高。

# 摘要

金蛛屬(*Argiope*)，是圓蛛科的一個屬。不論長圓或是中型金蛛其隱帶的長度與體長成正相關。研究中隱帶的長度與環境溫度、照度和風力的數值相關性不高。而在複式顯微鏡下發現隱帶的構造有疏密之分，為了解有隱帶的蛛網在承受風力以及獵物衝擊時的振動模式，以釣魚線及蠶絲製作仿生金蛛網，發現具有隱帶的蛛網其振動幅度較小。收集金蛛隱帶，檢測隱帶反射光後的光譜分布，結果發現疏隱帶的反射光譜，強度最大皆為黃橘光。研究顯示仿生隱帶支撐仿生網可減少振幅，且模擬獵物撞擊實驗中，震幅會隨著撞擊點、網面材質以及隱帶的不同而改變振幅。

## 壹、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，隱帶可藉由反射紫外線光來吸引昆蟲，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且較少關於隱帶的反射光譜實驗。因此，我們決定針對隱帶對蛛網振動影響及其反射光譜深入研究。

## 貳、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、研究金蛛隱帶的生態功能
- 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

## 參、研究物種

### 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	又稱好勝金蛛，其外觀腹部黃、白色，長卵形，常具有 X 形白色隱帶，若蛛不具黃斑也會織 X 型隱帶。
科 金蛛科 Araneidae	
屬 金蛛屬 <i>Argiope</i>	
種 長圓金蛛 <i>A. aemula</i>	

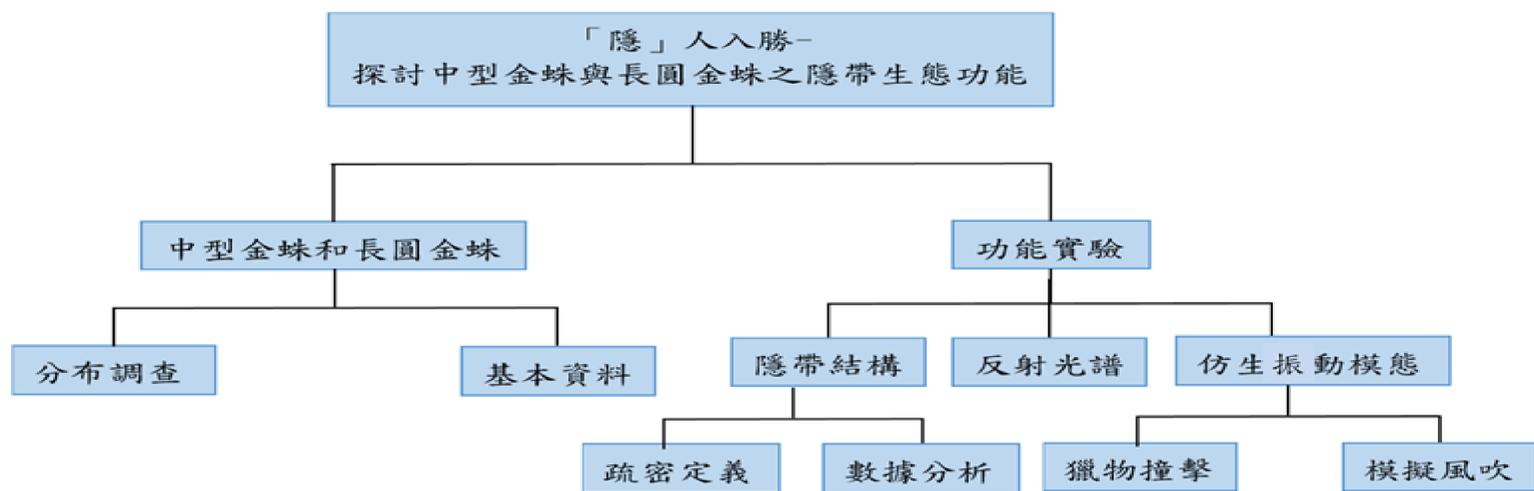


### 中型金蛛(*Argiope aetheroides*)

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: 雌蛛 13-17mm 雄蛛 5-6mm
目 蜘蛛目 Araneae	又稱蟲蝕痕金蛛、類高居金蛛，腹背略呈五角形，黃色，背上有黑色的橫紋帶，前後步足張開合併呈4條，網上常有隱帶，腹部型態接近五角型。
科 金蛛科 Araneidae	
屬 金蛛屬 <i>Argiope</i>	
種 類高居金蛛 <i>A. Aetheroides</i>	



## 肆、研究架構圖



## 伍、研究方法和結果

### 一、探討校園金蛛分布與棲息環境

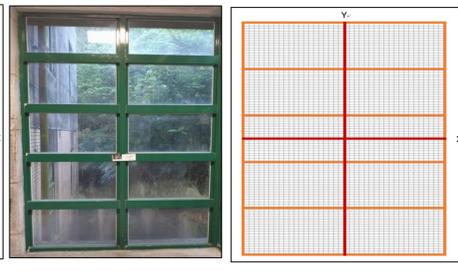
中午及傍晚在學校樓梯間以及後山，以天氣溼度計測量天氣變因，並以自製座標表格測量蜘蛛的位置及體長、隱帶長。



2F~3F樓梯窗戶、自製座標



3F~4F樓梯右窗、自製座標



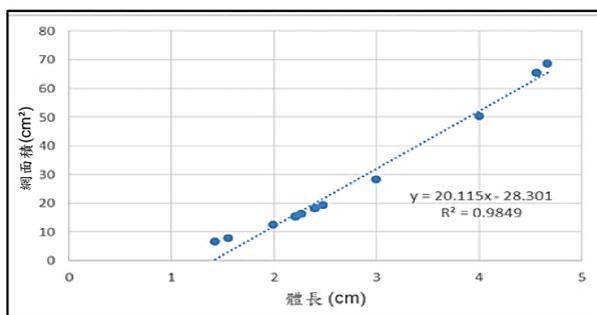
3F~4F樓梯左窗、自製座標

### (一) 探討金蛛生活環境及隱帶相關性

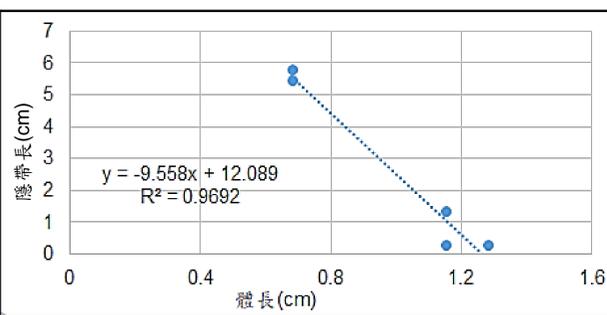
#### 不同金蛛分布地點生活環境的差異性

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	無
3-4 樓左窗	整天	327	3.3	都在窗戶上結網	無	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	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	無

#### 長圓金蛛隱帶長與網面積之相關性

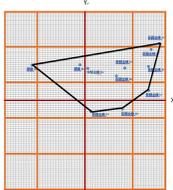


#### 中型金蛛體長與隱帶長之相關性

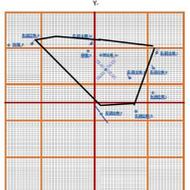


### (二) 探討金蛛的空間分布及環境

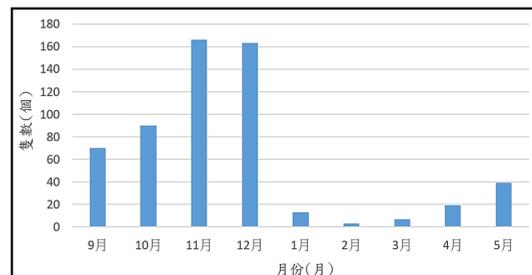
日期: 11/15 中午 溫度: 24.1°C 濕度: 53% 亮度: 16628lx 風速: 6.25 m/s 日期: 12/10 傍晚 溫度: 21.0°C 濕度: 68% 亮度: 4 lx 風速: 2.3 m/s



群體外型	五邊形
蜘蛛數量	11
群體面積	2.135 平方公尺
研究天數	4 天



群體外型	六邊形
蜘蛛數量	11
群體面積	3.6436 平方公尺
研究天數	4 天



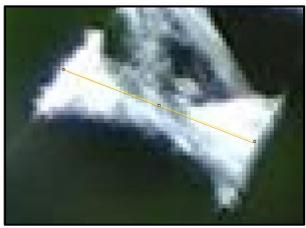
金蛛分布季節數量變化圖

# 伍、研究方法和結果

## 二、隱帶結構研究

### (一) 野外隱帶結構分析

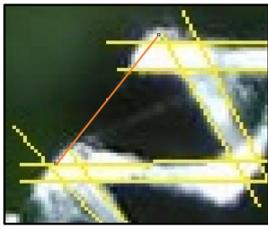
用ImageJ 計算隱帶的斜線長度、隱帶的全長、每條絲線之間的長度、隱帶間的角度、每條絲線之間的角度，最後用 Tinkercad 依照隱帶的各項長度及角度繪製立體隱帶模型，計算3個隱帶並平均做成圖表。



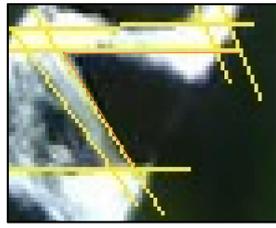
隱帶斜線長度



隱帶長度



絲線間的長度

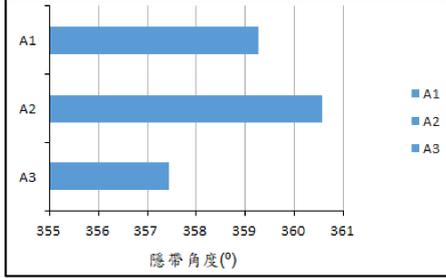


隱帶絲線間角度

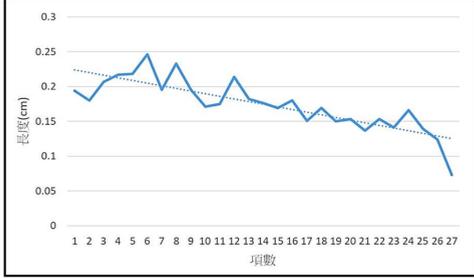


隱帶間角度

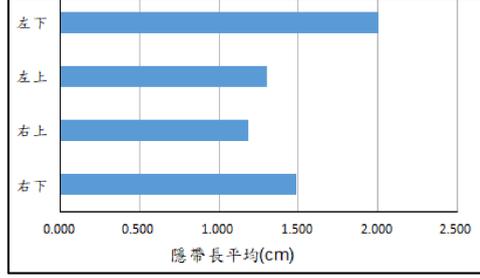
### 1. 隱帶詳細資料圖表:



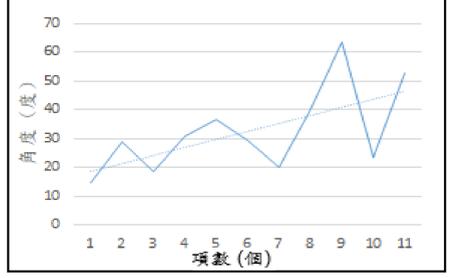
(1) 隱帶間夾角角度  
四邊夾角角度相加為357度。



(2) 左上隱帶絲線長度  
隱帶絲線長度由外向內大小交錯。

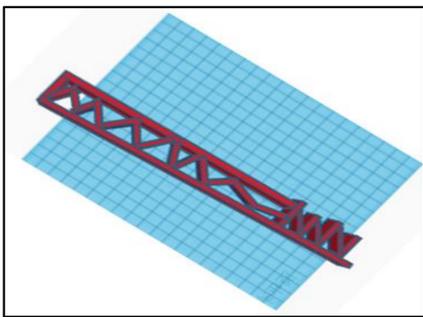


(3) 平均四邊隱帶長度  
以左下的最長，右上的最短。

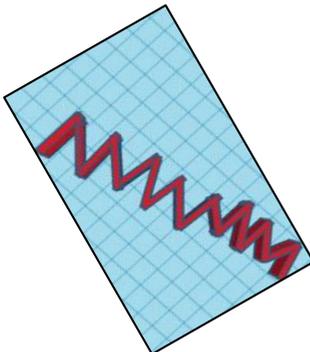


(4) 左上隱帶上邊空隙角度  
隱帶絲線角度由外向內大小交錯。

### 2. Tinkercad模型與隱帶照片之結構分析



(1) A1 中型金蛛疏隱帶與模型 (左上角隱帶)  
每條絲線兩側會觀察到縱向輔助線。

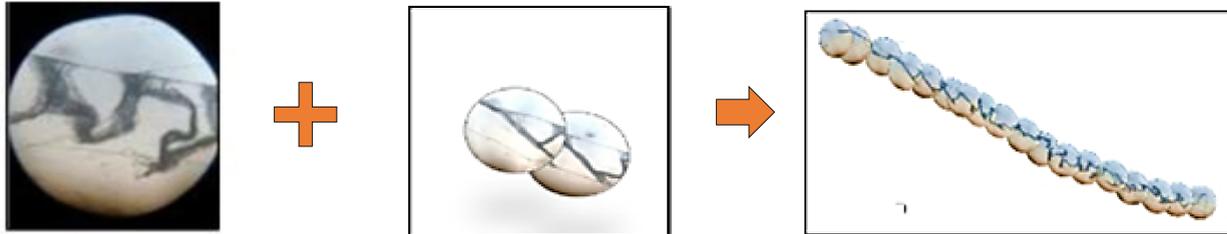


(2) A2 中型金蛛疏隱帶與模型 (左上角隱帶)  
以交叉方式結隱帶，靠近外圈橫絲會用 > 的形狀連結隱帶。

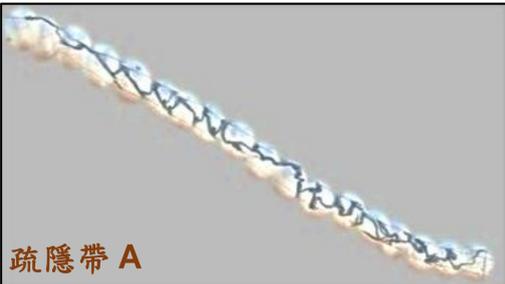


### (二) 隱帶顯微結構觀察

用兩片載玻片前後包夾隱帶，當作隱帶保存器。將隱帶放到顯微鏡底下觀察結構拍照，固定長寬拼接在一起，即可看出隱帶的結構。

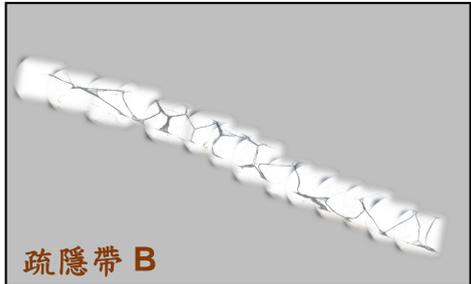


隱帶顯微結構繪製方式示意圖



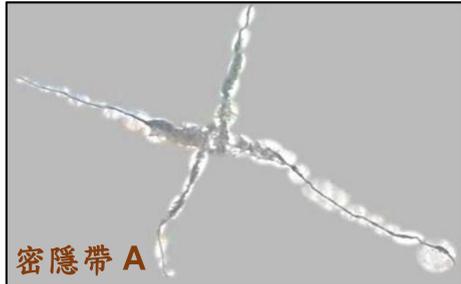
疏隱帶 A

看出兩旁支撐隱帶的絲線，隱帶空隙呈堆疊三角形的圖形。



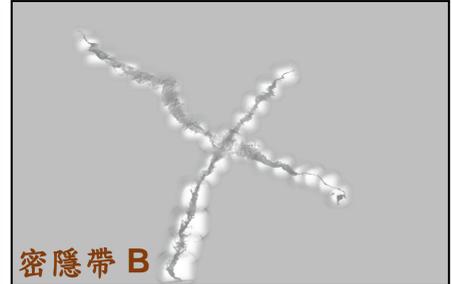
疏隱帶 B

絲線為最細的，隱帶旁邊有兩條絲線，可以看見堆疊的三角形圖形。



密隱帶 A

網眼處的絲線面積較大，為 X 型。

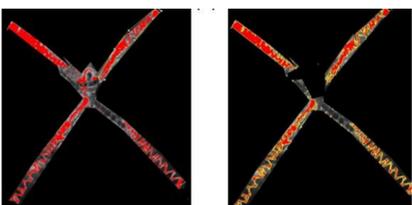


密隱帶 B

絲線最粗面積最廣，左上絲線最長。

### (三) 定義疏密

計算絲線占隱帶的總面積比例  
公式：隱帶絲線面積/總面積

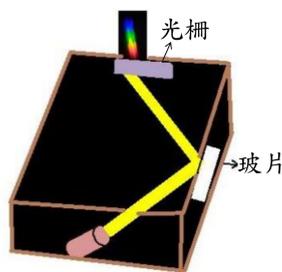


用 ImageJ 測量絲線面積

計算12個隱帶後，結果如下：  
密隱帶平均為88.5% 疏隱帶為60.5%  
全隱帶平均為74.5%  
定義：密：81.5%以上 疏：71.5%以下  
模糊地帶：71.5 ~81.5 %  
➢ (疏密個別的平均%-全隱帶平均%) ÷ 2 的數字加減疏密的平均當作臨界點。  
(88.5-74.5) ÷ 2 = 7.5%，88.5-7.5=81.5%  
(74.5-60.5) ÷ 2 = 7.5%，64.5+7.5=71.5%

### (四) 隱帶反射光譜研究

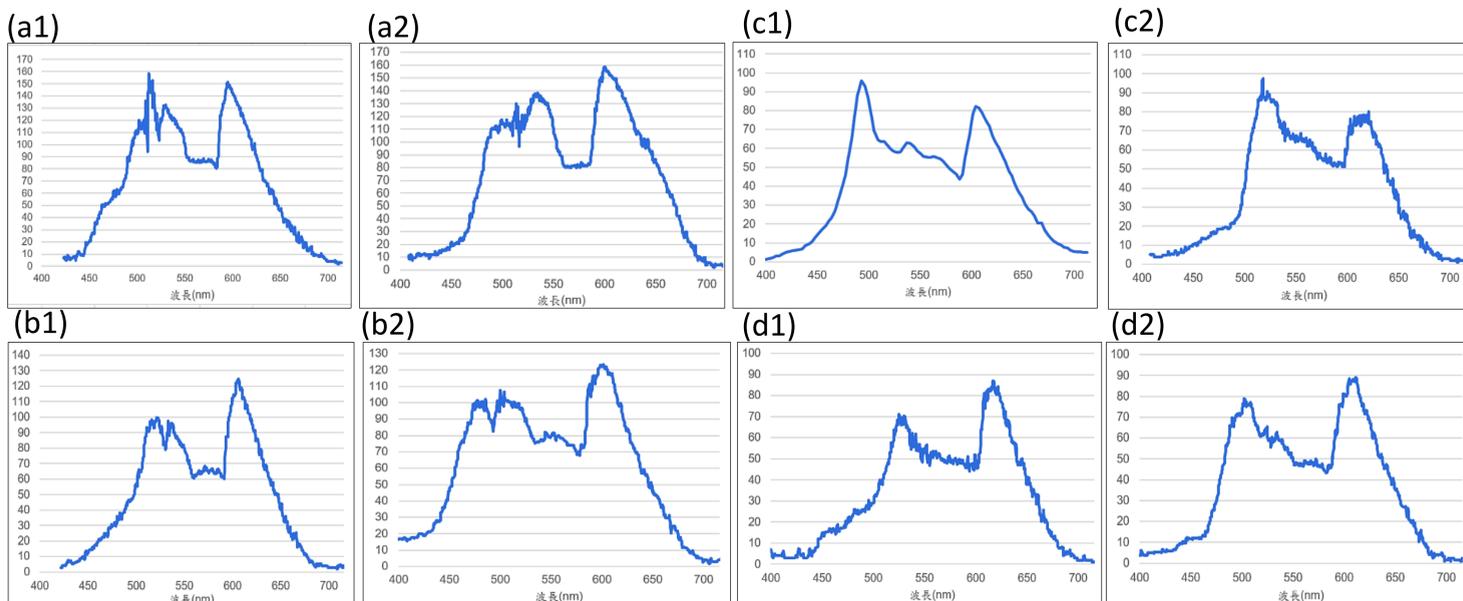
光譜裝置第三代：暗箱為長方體，並挖一個洞放手電筒，另一側為光柵。



第三代光譜裝置



1. 玻片隱帶反射光譜：主要反射顏色 (實驗進行3次，僅呈現2次實驗結果)



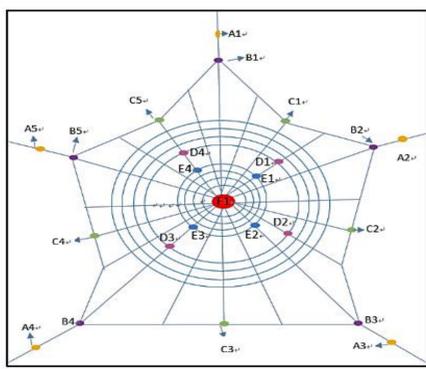
玻片、密A、密B、密C主要反射光線：綠色、橙色  
疏A主要反射光線：多為橙色、藍色

反射光譜曲線圖  
(a1),(a2),為密A隱帶的三次光譜  
(b1),(b2),為密B隱帶的三次光譜  
(c1),(c2),為密C隱帶的三次光譜  
(d1),(d2),為疏A隱帶的三次光譜

縱座標單位：灰階值

### 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

#### (一) 蛛網結構



- : 質點 A (牽引絲)
- : 質點 B (連接點)
- : 質點 C (外網)
- : 質點 D (外圈橫絲)
- : 質點 E (內圈橫絲)
- : 質點 F (網眼)

#### (二) 探討仿生隱帶對仿生金蛛網振動影響

##### 1. 製作仿生網

- (1) 瓦楞板製作外框，鈎魚線和蠶絲作蛛網的絲
- (2) 用紙膠帶當作質點黏在仿生網上



初步處理蠶絲



蠶絲網完成



鈎魚線網完成



標上質點

##### 3. 製作疏隱帶

- (1) 用製作密隱帶剩下鈎魚線和蠶絲當作疏隱帶的絲線
- (2) 一段一段黏在瓦楞板上



蠶絲疏隱帶



鈎魚線疏隱帶

##### 4. 振動實驗

- (1) 仿生金蛛網模擬風吹振動模態(正面拍攝)

隱帶	鈎魚線	平均振動幅度
疏	牽引絲 > 連接點 > 縱絲 > 外圈橫絲 = 內圈橫絲 > 中心點	
密十字	外網 > 連接點 > 牽引絲 > 外圈橫絲 > 中心點 > 內圈橫絲	
直線型	牽引絲 > 縱絲 > 連接點 > 橫絲 > 主網 > 中心點	
無	外網 > 連接點 > 外圈橫絲 > 中心點 > 牽引絲 > 內圈橫絲	

隱帶	蠶絲	平均振動幅度
疏	內圈橫絲 > 外圈橫絲 > 外網 > 連接點 > 中心點 > 牽引絲	
密十字	牽引絲 > 內圈橫絲 > 外網 > 外圈橫絲 > 連接點	
直線型	外網 > 牽引絲 > 連接點	
無	牽引絲 > 外網 > 連接點	

- (2) 仿生金蛛網模擬獵物撞擊振動模態(正面拍攝)

鈎魚線	最大振幅	最小振幅

蠶絲	最大振幅	最小振幅

- (3) 仿生金蛛網模擬獵物撞擊振動模態(側面拍攝)

鈎魚線	最大振幅	最小振幅

蠶絲	最大振幅	最小振幅

## 柒、結論

### 一、探討校園金蛛分布與棲息環境之間的相關性

- (一) 中型及長圓金蛛隱帶種類受人工環境下照度及風速的影響。
- (二) 金蛛體長與隱帶長呈正相關，且長圓金蛛與中形金蛛隱帶長度受到氣壓的影響相反。9-12月時金蛛數漸增，分布面積加廣。
- (三) 隱帶的不同形狀: 密隱帶: Y型、彎曲型、直線十字、直線中斷式; 疏隱帶: T型、密十字、直線中斷式。
- (四) 觀察到的比例以密直線最高，密十字其次。

### 二、研究金蛛隱帶之生態功能

#### (一) 隱帶結構研究野外隱帶結構分析

##### 1. 隱帶詳細資料

- (1) 隱帶間絲線角度由外向內大小交錯。
- (2) 四邊的隱帶長度以左下的最長，右上最短。
- (3) 四邊隱帶間角度相加後為357度，幾乎成正圓。

##### 2. Tinkercad模型與隱帶照片之結構分析。

- (1) 疏隱帶絲線的兩旁會觀察到縱向輔助線。
- (2) 疏隱帶絲線間空隙為堆疊三角形。

#### (二) 隱帶顯微結構觀察

1. 疏隱帶絲線間面積近三邊形。
2. 密隱帶網眼處和外部區域有疏密差異。

#### (三) 疏密定義: 依照隱帶絲線面積比例

- 密隱帶: 81.5%以上; 疏: 71.5%以下;  
模糊地帶: 71.5 ~ 81.5 %

#### (四) 光譜實驗

1. 對光的反射能力:  
疏隱帶 > 玻片 > 花瓣含玻片 > 密隱帶 > 花瓣
2. 對光的主要反射顏色峰值:

空白組: 黃、青色	單玻片: 綠、藍色
疏隱帶: 黃、青、綠、藍色	花瓣、密隱帶: 黃、綠色

### 三、探究具隱帶的仿生金蛛網與不具隱帶的仿生蛛網其模態振型

#### (一) 蛛網結構:

內圈橫絲和外圈橫絲、縱絲、外網、連接點及牽引絲。

#### (二) 蛛絲直徑: 蛛絲直徑由外區域向內區域遞減。

#### (三) 探討仿生隱帶對仿生金蛛網振動影響

1. 蠶絲網振動幅度小於鈎魚線網。且仿生網接受模擬獵物撞擊時，振幅瞬間增加。
2. 同質點會因撞擊部位不同而振幅有所改變。
3. 振動模態隨著能量消逝而減少振動的幅度。
4. 鈎魚線仿生網平均振幅較蠶絲仿生網大。
5. 同質點的振幅會因撞擊部位不同而振幅有所改變。

## 捌、參考資料

- 一. 潘冠竹、甘瑀涵、楊子毅(2019年)。「蜘蛛」來「織」趣-大姬蛛不規則網之拓撲探究。中華民國第59屆科學展覽會作品說明書。
- 二. 潘昱瑄、陳彥叡、江亞霖(2015年)。夏綠蒂 2D 和 3D 的世界。中華民國第55屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 三. Sharman Apt Russell(2016)。花朵的秘密生命。貓頭鷹出版社。
- 四. Matthew J. Bruce、Astrid M.(2005) Spider signals: are web decorations visible to birds and bees? Biol. Lett. 1, 299-302.
- 五. 鄭任鈞(2007)。The functions and evolution of the web decorations built by Argiope spiders。東海大學