

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

探究精神獎

030314

西里銀腹蛛結網角度變異之功能性探討

學校名稱：幼華學校財團法人臺北市幼華高級中等學
校附設國中部

作者： 國二 林捷寧 國二 李欣妮 國二 陳亭葭	指導老師： 張永浩
---	------------------

關鍵詞：結網角度、絲強度、捕蟲率

摘要

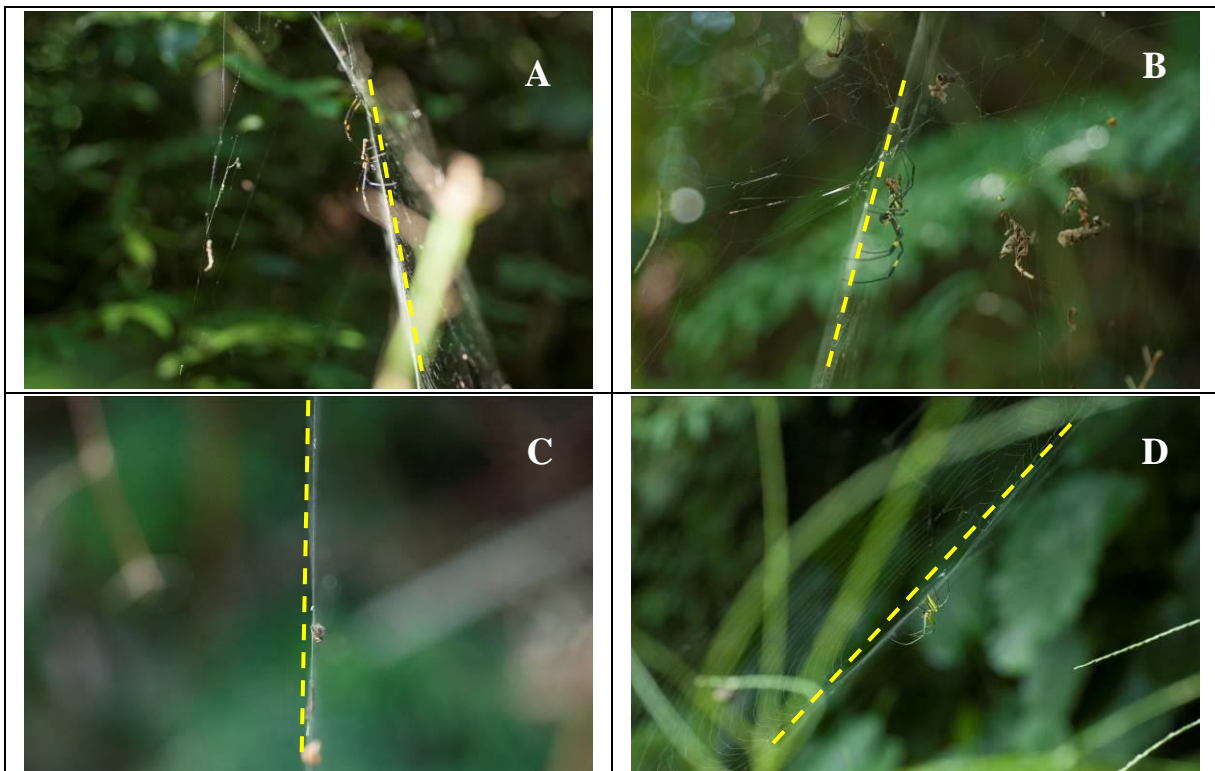
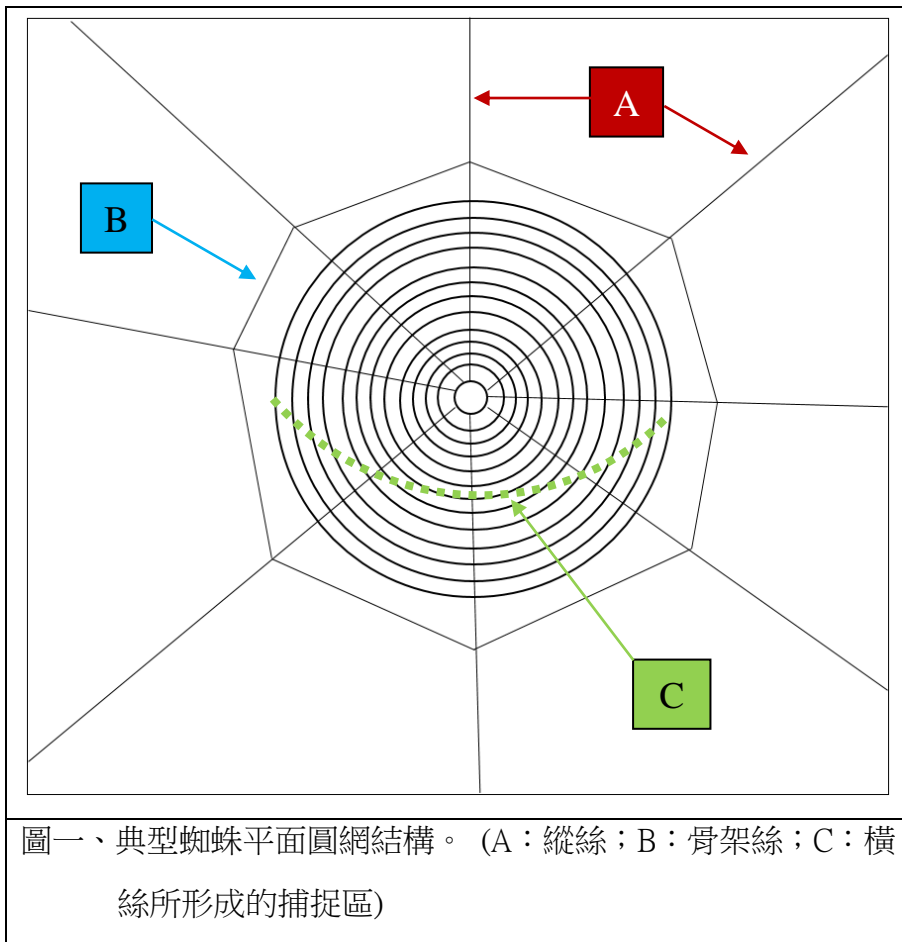
為了瞭解銀腹蜘蛛屬蜘蛛結網角度為何常與地面成一角度且角度變異極大，我們以此屬的常見種類西里銀腹蛛為對象，針對野外族群測量結網角度、結網面積、蜘蛛體長、結網高度及結網方位，結果顯示結網角度可從 9 度到 70 度，以 46 - 50 度最常見，而且結網角度與結網面積、蜘蛛體長、結網高度及結網方位均無明顯相關性。

我們從結網角度與受風面及捕蟲率的關係來思考，結果發現，在結網角度與地面垂直時之捕蟲率比起水平時明顯來的高，但結網角度越大即越垂直於地面，受風面越大，故必須織出較強的絲，需花費較多能量；所以西里銀腹蛛可能需在花費較多能量編織強度較強的蜘蛛絲與捕蟲率上取得平衡，因此結網角度才会有如此大的差異。

壹、研究動機

蜘蛛最大特徵就是腹部具有絲疣能吐絲，我們通常可以將蜘蛛分成結網性蜘蛛及非結網性蜘蛛兩大類；不同種類之結網性蜘蛛會織出不同形式的網來捕捉獵物，而非結網性蜘蛛則是以主動捕食或坐等伏擊方式來捕捉獵物；結網性蜘蛛所結之蛛網型式常見的有平面圓網、帳幕網、纏結網、片狀網等 (卓逸民, 2016)。

典型的平面圓網一般具有輻射排列的縱絲 (圖一、A) 及支持、穩定網結構之骨架絲 (圖一、B)，再加上一圈一圈螺旋狀具有黏性的橫絲所形成的捕捉區 (圖一、C)；野外最常見的結平面圓網的蜘蛛以金蜘蛛科 (Family Araneidae) 為主，例如：大人面蜘蛛 (*Nephila pilipes*)、小人面蜘蛛 (*Trichonephila clavata*)、鬼蜘蛛屬 (Genus *Araneus*) 蜘蛛、姬鬼蜘蛛屬 (Genus *Neoscona*) 蜘蛛等，這些蜘蛛所結平面圓網幾乎垂直於地面，且網角度變化不大 (野外觀察紀錄，表二)，但出現在類似棲地的長腳蜘蛛科 (Family Tetragnathidae) 銀腹蜘蛛屬 (Genus *Leucauge*) 的蜘蛛，其所結蜘蛛平面圓網常與地面成一夾角，且角度變化很大 (圖二、A-D)。



圖二、野外常見結典型平面圓網之蜘蛛及其結網角度；A：大人面蜘蛛（金蛛科），B：小人面蜘蛛（金蛛科），C：簷下姬鬼蜘蛛（金蛛科），D：西里銀腹蜘蛛（長腳蜘蛛科）。（黃色虛線代表蜘蛛網與地面之夾角線）

第 41 屆全國科展有一篇研究針對中型銀腹蜘蛛結網行為與生態適應進行探討，其中提到中型銀腹蜘蛛結網角度大約可從 10 度至 65 度左右，研究顯示，結網角度與蜘蛛體長無關，作者認為結網角度可能與環境有關 (陳建勳等，2001)，但是與何種環境因子有關，作者並無繼續探討。

本研究想了解，同樣結典型平面圓網且生存於類似生態環境中，為何金蛛科的大人面蜘蛛、小人面蜘蛛所結蛛網角度近乎垂直於地面，且角度變化不大，但長腳蜘蛛科銀腹蜘蛛屬之蜘蛛所結之網大都與地面成一角度，且結網角度變異極大，動物的行為必有其生態上的意義，所以我們將以銀腹蜘蛛屬中常見的西里銀腹蛛 (*Leucauge celebesiana*) 為對象，另亦觀測類似棲地之大人面蜘蛛與小人面蜘蛛的結網角度與其縱絲強度，藉此輔以探討銀腹蜘蛛屬結網角度變異如此大的原因為何。

貳、研究目的

- 一、野外觀察記錄西里銀腹蛛、大人面蜘蛛及小人面蜘蛛結網相關資料
- 二、探討西里銀腹蛛、大人面蜘蛛及小人面蜘蛛結網角度與絲強度關係
- 三、探討西里銀腹蛛結網角度與捕蟲率之關係
- 四、探討不同風力強度對西里銀腹蛛結網角度之影響

參、研究設備與器材

一、研究物種：

- (一) 西里銀腹蛛 (*Leucauge celebesiana*)：之後文章內均以 LC 為代碼。
- (二) 大人面蜘蛛 (*Nephila pilipes*)：之後文章內均以 NP 為代碼。
- (三) 小人面蜘蛛 (*Trichonephila clavata*)：之後文章內均以 TC 為代碼。

二、研究設備：

(一)、野外西里銀腹蛛、大人面蜘蛛及小人面蜘蛛結網相關資料觀察記錄

編號	器材名稱、描述	用途
1	自製量取蜘蛛結網角度工具： 以購買之量角器 (分度規) 黏上水平儀	測量蜘蛛結網角度
2	皮尺	測量蜘蛛結網面積及結網高度

3	游標尺	測量蜘蛛體長
4	手機指南針軟體	測量蜘蛛結網方位

(二)、西里銀腹蛛、大人面蜘蛛及小人面蜘蛛不同結網角度絲強度實驗

編號	器材名稱、描述	用途
5	自製取絲工具： 以白紙影印中央具有 5 cm * 1 cm 鏤空之框架	夾取蜘蛛網縱絲
6	拉伸測試儀 型號：EZ-SX (Shimadzu Scientific Instruments, Japan)	測量蜘蛛網縱絲強度

(三)、西里銀腹蛛不同結網角度捕蟲率實驗

編號	器材名稱、描述	用途
7	自製捕蟲工具： 以每四根鋁桿為一組立於樣區，形成長方形空間，中央以束帶綁上 A4 尺寸的護貝紙，並分別調整角度成水平、45 度、垂直，護背紙正、反面均噴上無色、無味的黏蟲膠	捕捉昆蟲
8	鑷子	收集昆蟲樣本
9	採集瓶	保存昆蟲樣本
10	75% 酒精	保存昆蟲樣本
11	解剖顯微鏡	鑑定昆蟲樣本

(四)、不同風力強度對西里銀腹蛛結網角度之影響實驗

編號	器材名稱、描述	用途
12	飼養帳幕 (75 cm x 75 cm x 115 cm)	飼養蜘蛛
13	電扇	產生不同風速，影響蜘蛛結網角度
14	風速計	測量風速
15	相機	拍攝蜘蛛結網角度
16	腳架	拍攝蜘蛛結網角度

肆、研究過程與方法

實驗一、野外觀察記錄西里銀腹蛛、大人面蜘蛛及小人面蜘蛛結網相關資料

實驗目標：本實驗目的是針對野外西里銀腹蛛、大人面蜘蛛及小人面蜘蛛族群進行結網相關因子測量記錄，希望歸納出與西里銀腹蛛結網角度相關之因子，我們假設西里銀腹蛛之結網角度可能與蜘蛛體長、網面積大小、結網高度或結網方位有關。

實驗流程：

(一) 西里銀腹蛛、大人面蜘蛛及小人面蜘蛛棲地類似，均結網於路邊以陽性樹種為主之開闊次生林 (圖三)，我們選擇西里銀腹蛛、大人面蜘蛛及小人面蜘蛛族群量豐富之棲地，沿選擇棲地步道尋找蜘蛛。

(二) 本研究在 2020 年 10 月 11 日、10 月 17 日、10 月 24 日、10 月 25 日、11 月 1 日、11 月 15 日、11 月 21 日、11 月 28 日、11 月 29 日、12 月 6 日、12 月 19 日及 2021 年 1 月 16 日，分別在屏東縣來義林道 (22°31'34.8"N, 120°39'11.4"E)、新北市烏來林道 (24°50'29.5"N, 121°31'53.0"E)、台北市劍南路 (25°05'09.7"N, 121°33'08.4"E) 及 台北市立動物園 (24°59'54.6"N, 121°34'51.8"E) 等地進行了 12 次野外調查。

另外於 2021 年 5 月 22 日及 5 月 23 日於新北市太極嶺 (24°57'15.6"N, 121°27'48.6"E) 及台北市劍南路針對小人面蜘蛛及大人面蜘蛛進行 2 次野外調查。

(三) 發現目標蜘蛛時，分別測量記錄以下相關因子：

1. 結網角度：利用黏上水平儀之量角器 (分度規) 量取蜘蛛網角度 (圖四)。
2. 結網面積：利用皮尺測量蜘蛛網捕捉區之水平方向長度 a (cm) 及垂直方向之長度 b (cm)，計算網面積 C (cm²) = $3.14 * \{ [(a+b) / 2] / 2 \}^2$ (圖五)。
3. 結網高度：利用皮尺從地面量測至蜘蛛網中心 (圖六)。
4. 蜘蛛體長：將蜘蛛抓下，利用游標尺測量其體長，體長計算由頭胸部前端量至腹部末端 (圖七、圖八)。
5. 結網方位：利用手機中之指南針軟體測量蜘蛛腹面指向的方位 (圖九、圖十)。

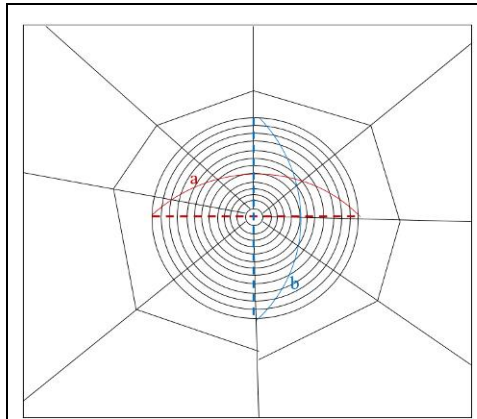
(四) 利用 excel 軟體進行數據分析，檢視各種相關因子與蜘蛛結網角度之關係。



圖三、西里銀腹蛛、大人面蜘蛛及小人面蜘蛛野外棲地 (新北市烏來林道)



圖四、以黏上水平儀之量角器量取蜘蛛網角度



圖五、蜘蛛網面積 (cm^2) 之測量
(a: 捕捉區水平直徑; b: 捕捉區垂直直徑)



圖六、以皮尺量取蜘蛛網高度



圖七、以游標尺量取蜘蛛體長



圖八、蜘蛛體長



圖九、以手機指南針軟體測量蜘蛛結網方位



圖十、蜘蛛結網方位定義 (蜘蛛腹面指向方向)

實驗二、探討西里銀腹蛛、大人面蜘蛛及小人面蜘蛛結網角度與絲強度關係

實驗目標：本實驗目的欲測試西里銀腹蛛不同結網角度之蜘蛛網是否有強度差異，我們假設結網角度越大，受風面越大，蜘蛛絲強度需越強。

實驗流程：

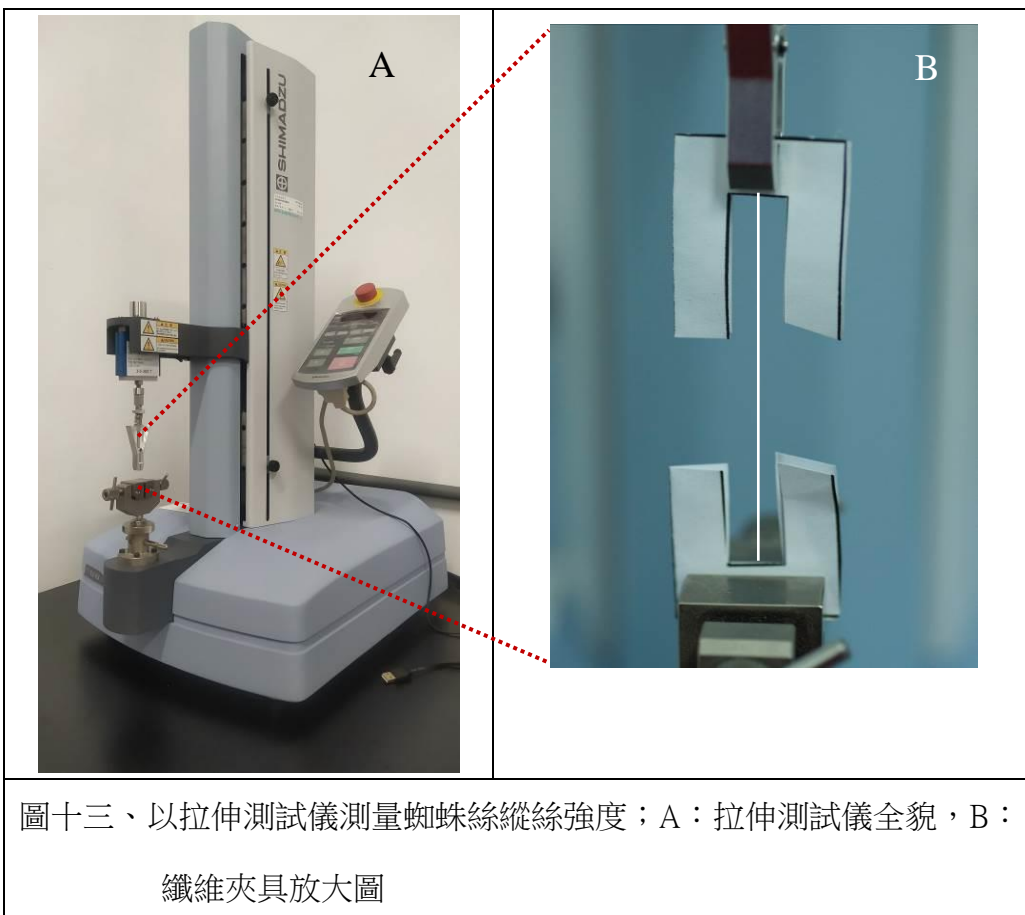
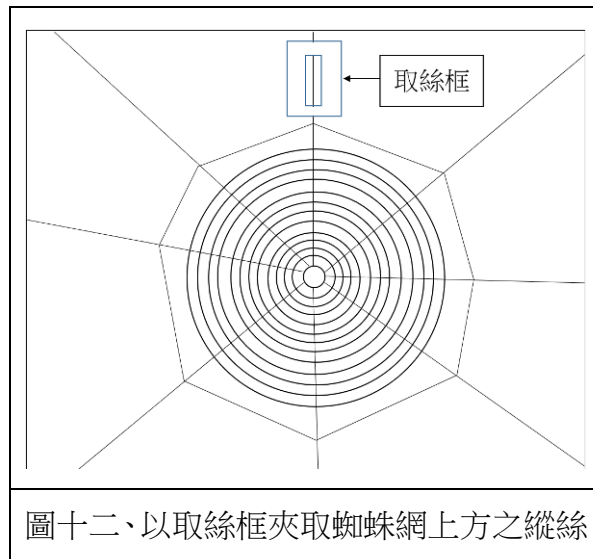
- (一) 2020 年 11 月 21 日及 12 月 6 日於野外選擇西里銀腹蛛三種類型角度的蜘蛛網，蜘蛛網角度分別如下：
 1. 蛛網角度接近水平 (約 10 度左右)
 2. 蛛網角度接近 45 度
 3. 蛛網角度接近垂直 (約 70 度左右)
- (二) 利用紙張影印中央具有 5 cm * 1 cm 鏤空之取絲框 (圖十一)。
- (三) 將取絲框黏上雙面膠，夾取蜘蛛網上方之縱絲 (圖十二)。
- (四) 取下之蜘蛛絲先置於溼度設定為 50% 之防潮箱內一天，使所有蜘蛛絲的溼度

一致。

(五) 將蜘蛛絲利用拉伸測試儀 EZ-SX (Shimadzu Scientific Instruments, Japan) 測定其強度 (圖十三、A-B)。

(六) 另外加取了大人面蜘蛛與小人面蜘蛛縱絲強度，並重複上述步驟 (二) - (五)。

(六) 利用 excel 軟體進行數據分析，比對各種蛛網角度與絲強度之關係。



實驗三、探討西里銀腹蛛結網角度與捕蟲率之關係

實驗目標：本實驗目的為測試西里銀腹蛛不同結網角度是否影響捕蟲率，我們假設蜘蛛網角度越接近垂直於地面，捕蟲率越高。

實驗流程：

- (一) 以鋁桿立於同一區域，共分三組，每組鋁桿間綁上透明護貝紙作為獵物捕捉區，並分別將護貝紙調整成與地面成水平 (0 度)、與地面成 45 度、與地面成垂直 (90 度) (圖十四、A-C)。
- (二) 將每組之護貝紙正反面均噴上透明無味黏蟲膠 (圖十四、D)。
- (三) 於 2020 年 11 月 28 日、2020 年 12 月 19 日及 2021 年 1 月 16 日，將上述裝置放置於西里銀腹蛛野外棲地，放置時間從 9:00 ~ 12:00。
- (四) 3 小時後，將 3 組之護貝紙上捕獲之獵物分別取下放入含 75% 酒精之樣本瓶中，於實驗室利用解剖顯微鏡鑑定採回之獵物。
- (五) 以 excel 分析各組間捕蟲率之差異。



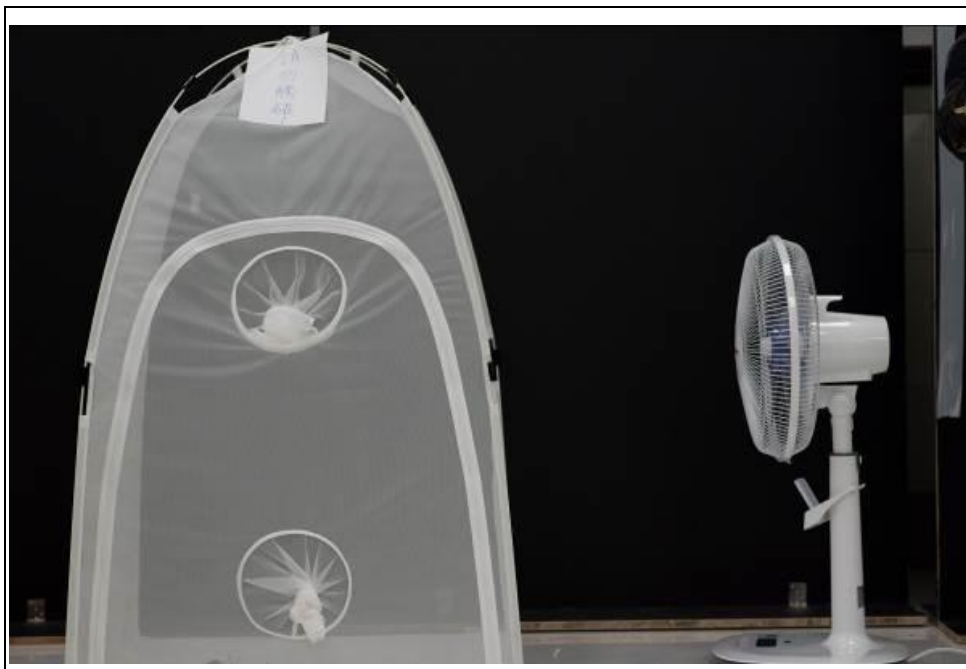
圖十四、捕蟲率調查實驗裝置；A：捕捉區呈水平之組別， B：捕捉區成 45 度之組別， C：捕捉區呈垂直之組別， D：正反面均噴上透明無味黏蟲膠之護貝紙作為捕捉區

實驗四、探討不同風力強度對西里銀腹蛛結網角度之影響

實驗目標：本實驗目的想測試不同風力強度對西里銀腹蛛結網角度是否有影響，我們假設風力越大，蜘蛛結網度應該越小。

實驗流程：

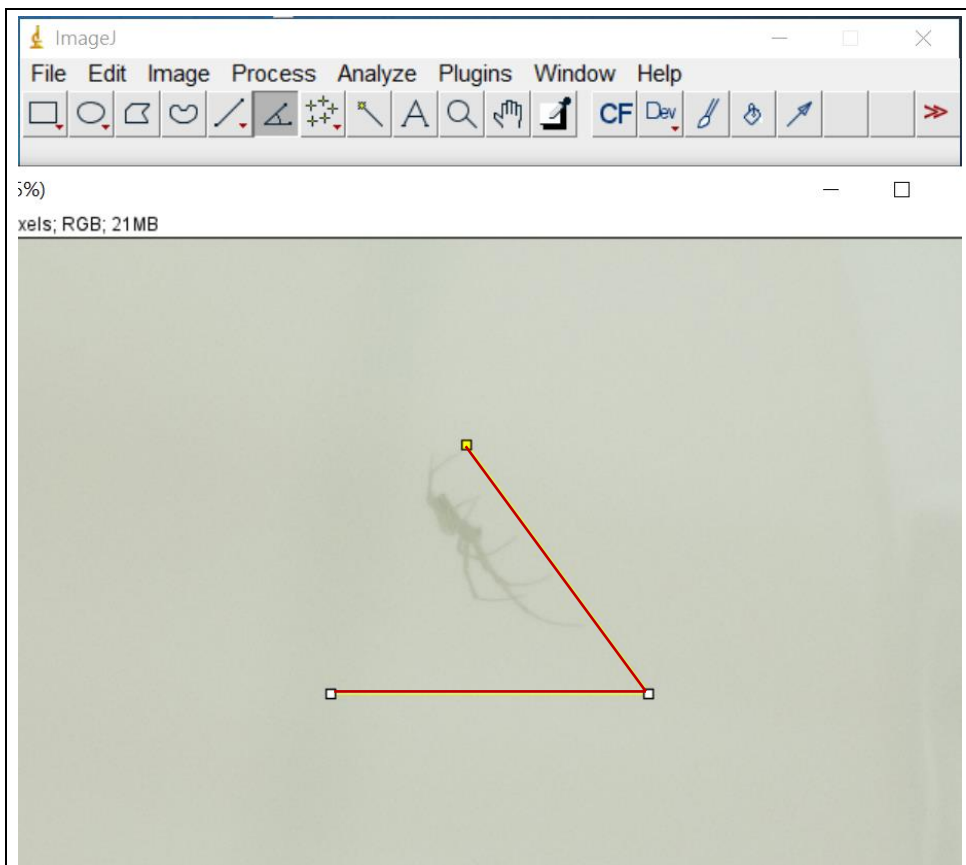
- (一) 將西里銀腹蛛單獨放入飼養帳幕內，分別給予下列三種風力處理 (圖十五)：
 - 第一組：風速為 0 m/sec (將飼養蜘蛛之帳幕置於密閉室內)。
 - 第二組：風速為 1m/sec (將飼養蜘蛛之帳幕置於風速設定為 1 m/sec 之電風扇前)。
 - 第三組：風速為 3m/sec (將飼養蜘蛛之帳幕置於風速設定為 3 m/sec 之電風扇前)。
- (二) 待蜘蛛結網完成，將單眼相機架於水平處理過之腳架上，進行蜘蛛結網角度拍攝 (圖十六)。
- (三) 將拍攝照片以 ImageJ 軟體測量蜘蛛結網角度 (圖十七)。
- (四) 每種風力處理各重複 10 次，每次實驗所放入之蜘蛛均為不同個體。
- (五) 以 excel 進行數據分析。



圖十五、置於不同風速前之飼養帳幕



圖十六、以單眼相機拍攝西里銀腹蛛結網角度



圖十七、以 ImageJ 軟體測量蜘蛛結網角度

實驗數據統計方法

(一) 迴歸分析：

本研究針對 1) 西里銀腹蛛之結網角度與蜘蛛體長、結網面積大小、結網高度及結網方位之關係，2) 西里銀腹蛛結網角度與絲強度關係，3) 不同風力強度對西里銀腹蛛結網角度之影響等實驗除了將各組重複測量所獲得的數據，利用 excel 軟體，分別計算其平均值 \pm 標準誤差之外，為進一步瞭解各個實驗因子與西里銀腹蛛之結網角度的相關性，亦利用 excel 軟體，進行簡單迴歸分析進行檢視。簡單迴歸分析主要是用來探討 1 個依變數和 1 個自變數的關係，其表示式為： $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \varepsilon$ β_0 為常數， β_1 為迴歸係數， ε 為誤差。

為了檢視此迴歸模式的顯著值，使用 F 檢定，此時我們會檢視此回歸模型，若 $p > 0.05$ ，代表符合虛無假說，即 $\beta_1 = \beta_2 = \beta_n = 0$ ，兩變數無關聯性，若 $p < 0.05$ 則接受對立假說，即至少有一個 β 不為 0，代表迴歸模型具有預測力。

而迴歸模型中之判定係數 (R^2)，即迴歸模型的總變異中可被自變數解釋之百分比，判定係數越大，迴歸模型的預測力越高，一般而言，判定係數若大於 0.5 即具有預測力。

(二) 單因子變異數分析 (ANOVA)：

本研究針對西里銀腹蛛結網角度與捕蟲率之關係及不同風力強度對西里銀腹蛛結網角度之關係 2 實驗，利用 excel 軟體進行單因子變異數分析 (ANOVA)，進行組間差異分析，若 $p > 0.05$ ，代表符合虛無假說，即各組間無明顯差異；若 $p < 0.05$ ，代表否決虛無假設，接受對立假設，即各組間具有差異。

伍、研究結果

實驗一、野外觀察記錄西里銀腹蛛、大人面蜘蛛及小人面蜘蛛結網相關資料

12 次野外調查共記錄了 268 隻西里銀腹蛛 (表一)，前 11 次調查我們分別記錄了西里銀腹蛛的結網角度、結網高度及結網面積，第 12 次調查，我們記錄了結網角度、結網高度及結網面積、蜘蛛體長及結網方位。

另外針對小人面蜘蛛及大人面蜘蛛，我們進行 2 次野外調查，共記錄了小人面蜘蛛 11 隻及大人面蜘蛛 23 隻 (表二)，分別記錄了結網角度、結網高度、結網面積、蜘蛛體長及結網方位。

表一、西里銀腹蛛野外採集紀錄

調查回數	調查日期	調查地點	西里銀腹蛛隻數
第一次	2020/10/11	屏東縣來義鄉林道	11 隻
第二次	2020/10/17	新北市烏來林道	24 隻
第三次	2020/10/24	新北市烏來林道	17 隻
第四次	2020/10/25	台北市立動物園	14 隻
第五次	2020/11/1	新北市烏來林道	22 隻
第六次	2020/11/15	新北市烏來林道	26 隻
第七次	2020/11/21	新北市烏來林道	22 隻
第八次	2020/11/28	新北市烏來林道	21 隻
第九次	2020/11/29	台北市劍南路	10 隻
第十次	2020/12/6	新北市烏來林道	32 隻
第十一次	2020/12/19	新北市烏來林道	25 隻
第十二次	2021/1/16	新北市烏來林道	44 隻

表二、大人面蜘蛛及小人面蜘蛛野外採集紀錄

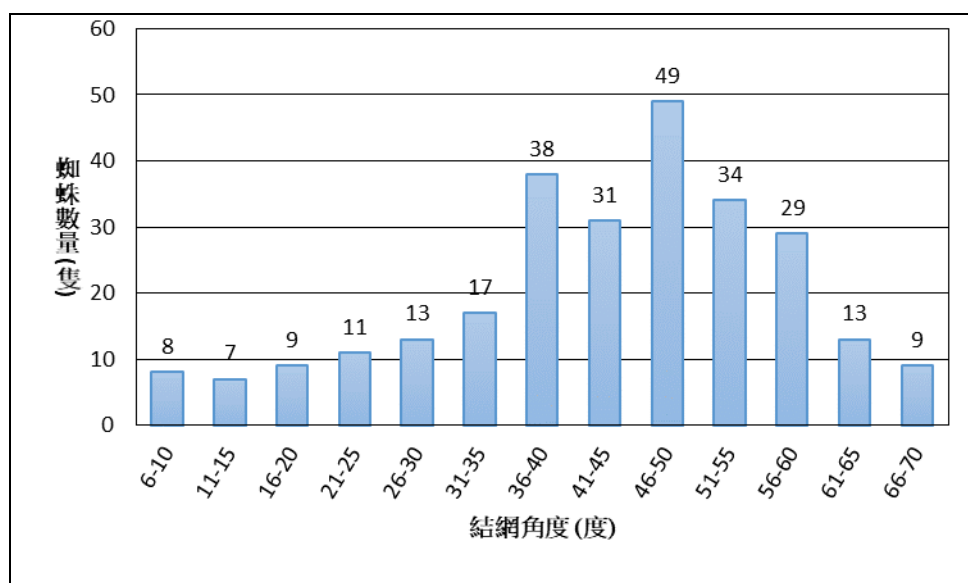
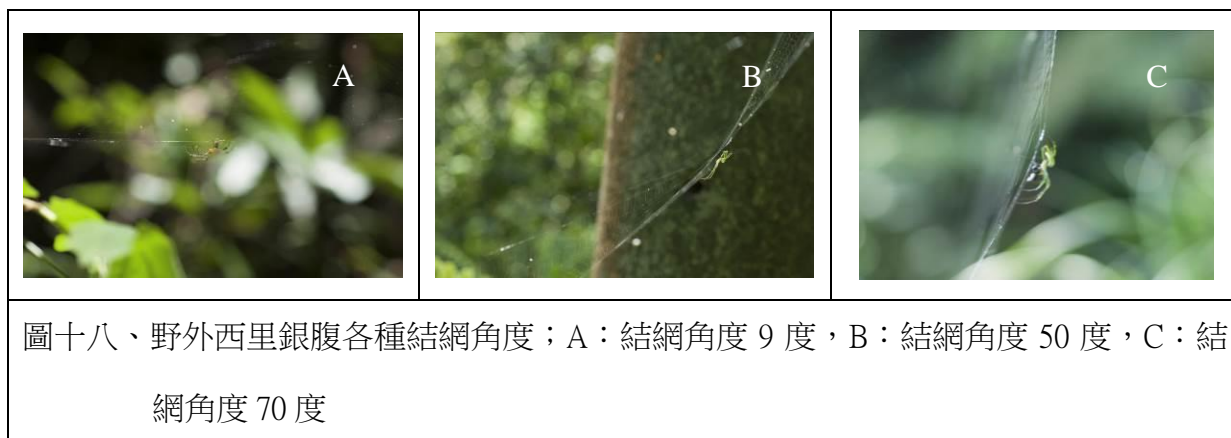
調查日期	調查地點	紀錄物種	蜘蛛隻數
2021/5/22	新北市太極嶺	小人面蜘蛛	11 隻
2021/5/22	新北市太極嶺	大人面蜘蛛	9 隻
2021/5/23	台北市劍南路	大人面蜘蛛	14 隻

所有野外資料經統計分析發現以下結果：

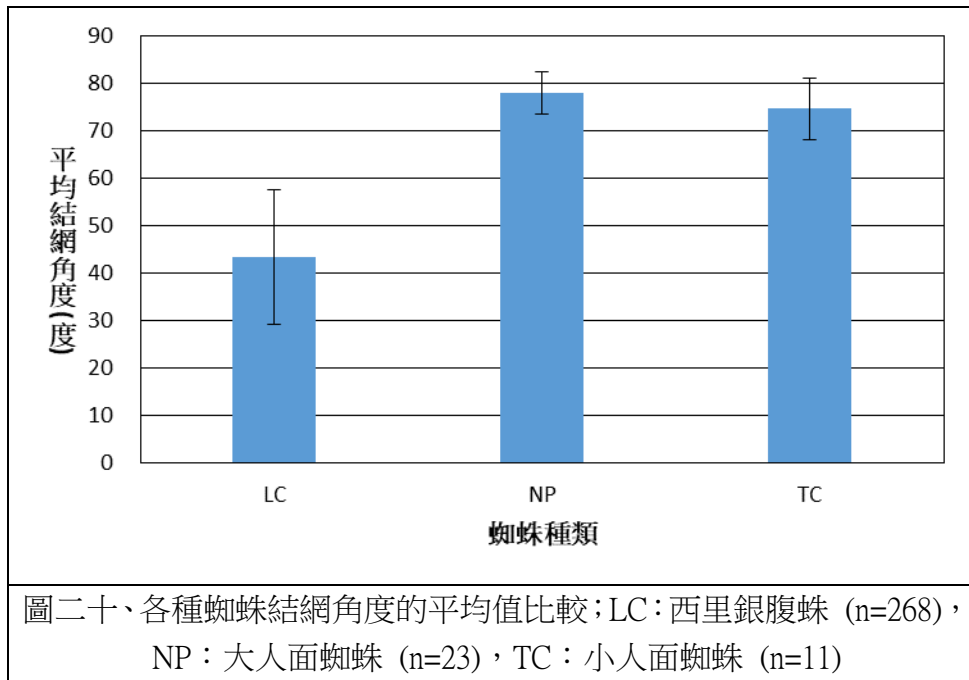
(一) 野外西里銀腹蛛、大人面蜘蛛及小人面蜘蛛結網角度

在 12 次野外調查中記錄之 268 隻西里銀腹蛛，其結網角度從 9 度至 70 度 (圖十八)，我們以結網角度每 5 度為一個區間，計算每一區間的蜘蛛隻數，結果顯示，其結網角度以 46 - 50 度區間之蜘蛛隻數最多，共 49 隻，占總數 18% (圖十九)。

野外調查中記錄之 268 隻西里銀腹蛛的結網角度平均值為 43.56 ± 14.16 度，23 隻大人面蜘蛛結網角度約從 70 ~ 85 度，平均值為 78.09 ± 4.47 度，11 隻小人面蜘蛛的結網角度約從 65 ~ 85 度，平均值為 74.73 ± 6.45 度；相較之下，大人面蜘蛛及小人面蜘蛛結網角度較大且變異極小，但西里銀腹蛛結網角度相對較小且變異很大。(圖二十)。

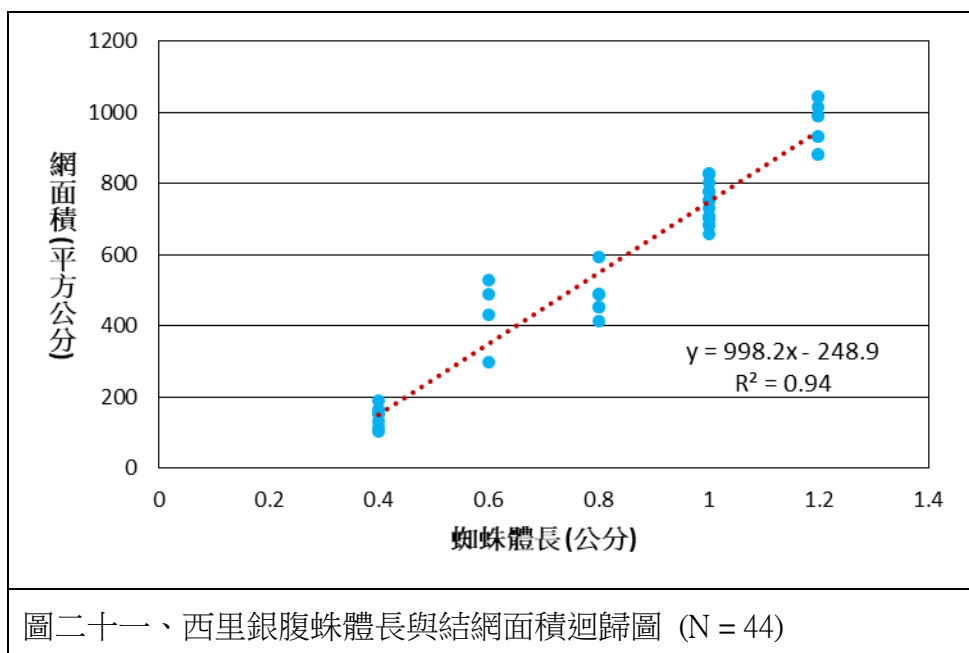


圖十九、西里銀腹蛛野外族群結網角度分布圖 (N = 268)



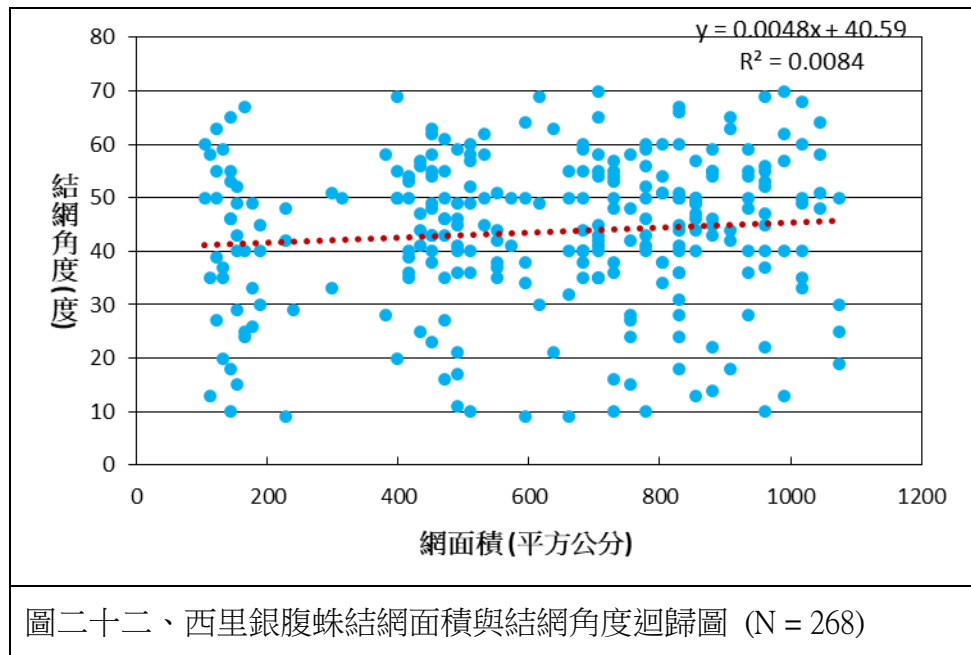
(二) 西里銀腹蛛體長與結網面積之關係

第 12 次調查我們測量了蜘蛛體長，蜘蛛體長從 0.4 - 1.2 cm，網面積從 103.81 - 1074.66 cm²，將第 12 次調查之 44 筆蜘蛛體長與結網面積數據進行迴歸分析，迴歸模式的顯著性檢定 (F 檢定)，p 值 = 2.78E-27，遠小於 0.05，否定虛無假設，即至少有一個 β_i 不為 0，迴歸模型具有預測力，且此迴歸模型之判定係數 (R^2) = 0.94，即西里銀腹蛛體長與結網面積成高度正相關 (圖二十一)。



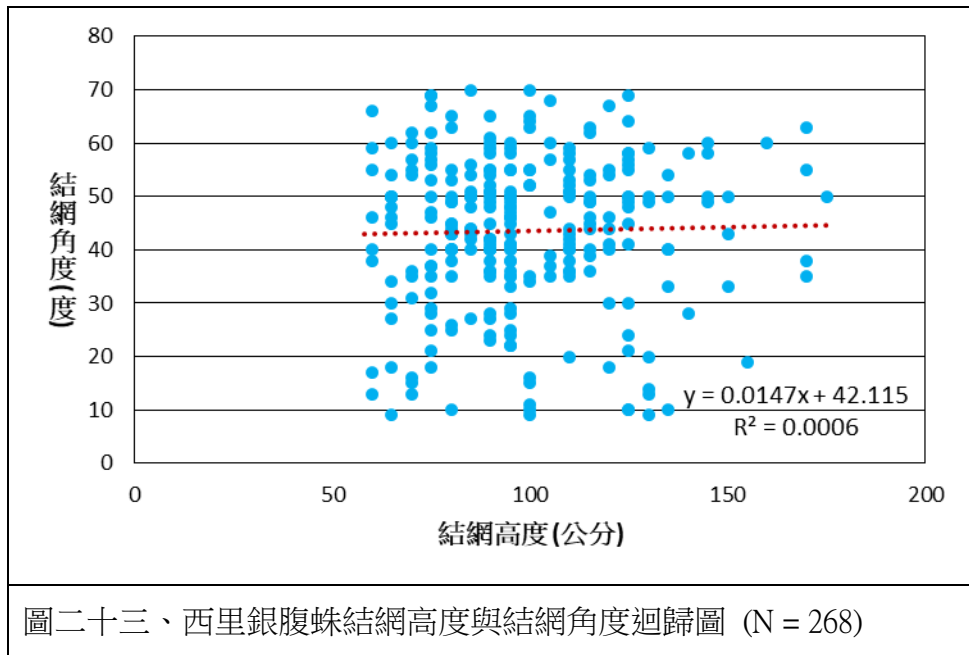
(三) 西里銀腹蛛結網面積與結網角度之關係

12 次野外調查的 268 筆中的結網面積從 103.81 - 1074.66 cm²，將其與結網角度關係進行迴歸分析，結果顯示，迴歸模式的顯著性檢定 (F 檢定)， p 值 = 0.135，大於 0.05，接受虛無假設，迴歸模型無效，且此迴歸模型之判定係數 (R^2) = 0.0084，即西里銀腹蛛結網面積與結網角度無關 (圖二十二)。



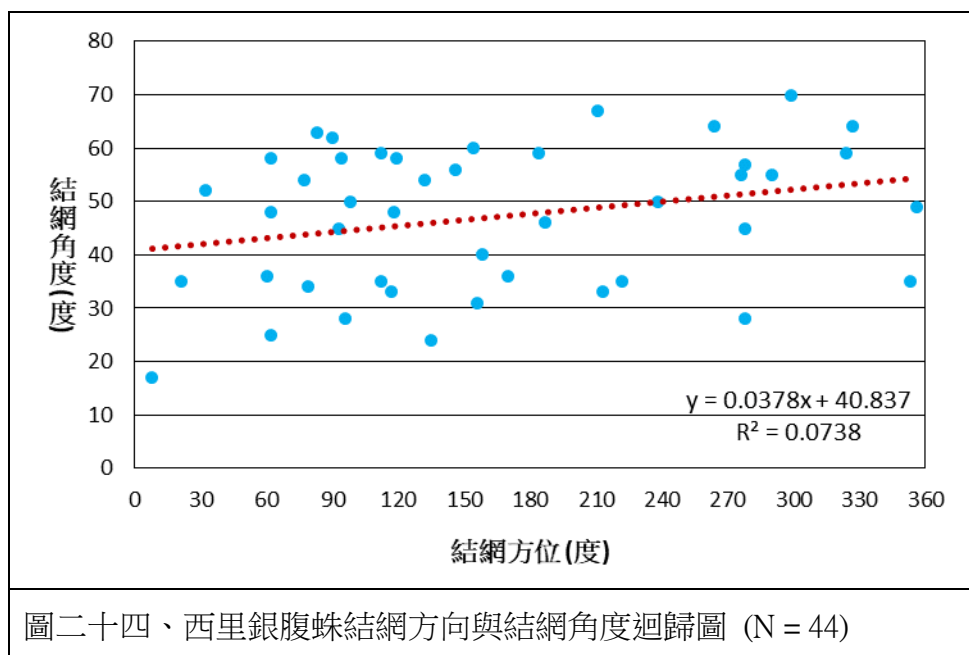
(四) 西里銀腹蛛結網高度與結網角度之關係

根據 12 次調查的 268 筆結網高度從 60 - 175 cm，將其與結網角度進行迴歸分析，結果顯示，迴歸模式的顯著性檢定 (F 檢定)， p 值 = 0.6842，大於 0.05，接受虛無假設，迴歸模型無效，且此迴歸模型之判定係數 (R^2) = 0.0006，即西里銀腹蛛結網高度與結網角度無關 (圖二十三)。



(五) 西里銀腹蛛結網方位與結網角度之關係

根據第 12 次野外調查的 44 筆結網方位與結網角度進行迴歸分析，結果顯示，迴歸模式的顯著性檢定 (F 檢定)， p 值 = 0.0745，大於 0.05，接受虛無假設，迴歸模型無效，且此迴歸模型之判定係數 (R^2) = 0.0738，即西里銀腹蛛結網方位與結網角度無關 (圖二十四)。



實驗二、探討西里銀腹蛛、大人面蜘蛛及小人面蜘蛛結網角度與絲強度關係

我們於 2 次的野外採集收集了西里銀腹蛛蛛網角度接近水平、蛛網角度接近 45 度及蛛網角度接近垂直的縱絲各 7 條，經拉伸測試儀測得各結網角度縱絲強度數據如表三（圖二十五）。

表三、野外採集西里銀腹蛛不同結網角度縱絲強度（—：實驗失敗，無數據）

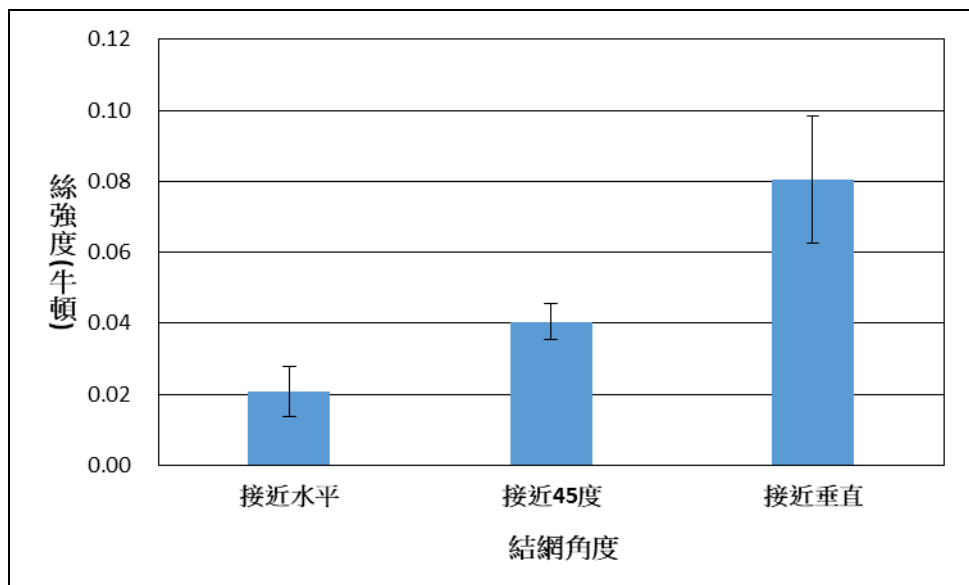
	結網角度 (度)	樣本編號	絲強度 (牛頓)
結網角度 接近水平	9	LC01	0.0106
	9	LC11	0.0197
	10	LC09	0.0155
	10	LC18	0.0280
	11	LC06	0.0290
	13	LC10	—
	13	LC13	0.0223
結網角度 接近 45 度	43	LC08	0.0330
	43	LC14	0.0469
	46	LC02	0.0379
	46	LC17	0.0409
	47	LC12	0.0354
	48	LC05	0.0349
	48	LC16	0.0539
結網角度 接近垂直	66	LC19	0.0809
	67	LC07	0.1100
	68	LC15	0.0648
	68	LC21	0.0661
	69	LC03	0.0652
	70	LC04	0.0879
	70	LC20	0.0885



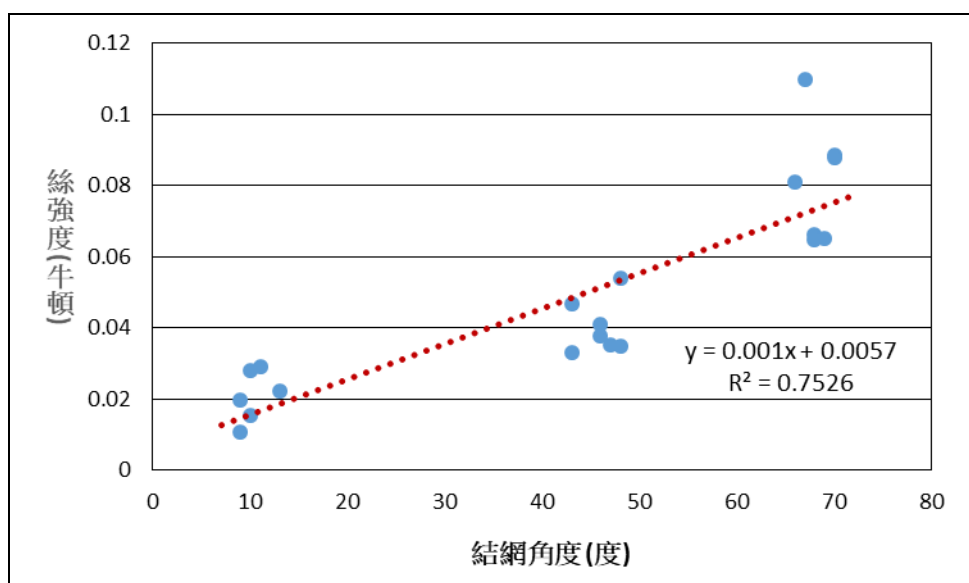
圖二十五、以拉伸測試儀測得西里銀腹蛛不同結網角度縱絲之絲強度曲線變化圖；縱軸為絲強度，單位為牛頓；橫軸為絲拉伸長度，單位為 mm

蛛網角度接近水平之縱絲強度平均值為 0.0209 ± 0.0071 牛頓 (n=6)；蛛網角度接近 45 度之縱絲強度平均值為 0.0404 ± 0.0051 牛頓 (n=7)；蛛網角度接近垂直的縱絲強度平均值為 0.0805 ± 0.0179 牛頓 (n=7)。(圖二十六)

我們針對不同結網角度與絲強度進行迴歸分析，結果顯示，迴歸模式的顯著性檢定 (F 檢定)， p 值 = $7.30E-07$ ，遠小於 0.05，否定虛無假設，即至少有一個 β_i 不為 0，迴歸模型具有預測力，且此迴歸模型之判定係數 (R^2) = 0.7526，即結網角度與絲強度具有高度正相關 (圖二十七)。

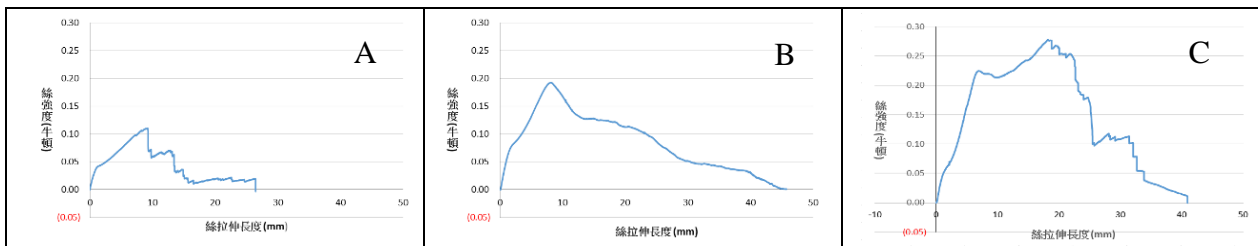


圖二十六、西里銀腹蛛不同結網角度縱絲強度的平均值比較 (n=7)



圖二十七、西里銀腹蛛結網角度與蛛網縱絲強度迴歸圖 (N=20)

另外我們分別測量了大人面蜘蛛 (n=2) 及小人面蜘蛛 (n=1) 的縱絲強度，結果顯示，其絲強度平均達到 0.2200 牛頓，比起本實驗西里銀腹蛛中最強之縱絲強度 (0.1100 牛頓) 來的大很多。(圖二十八)

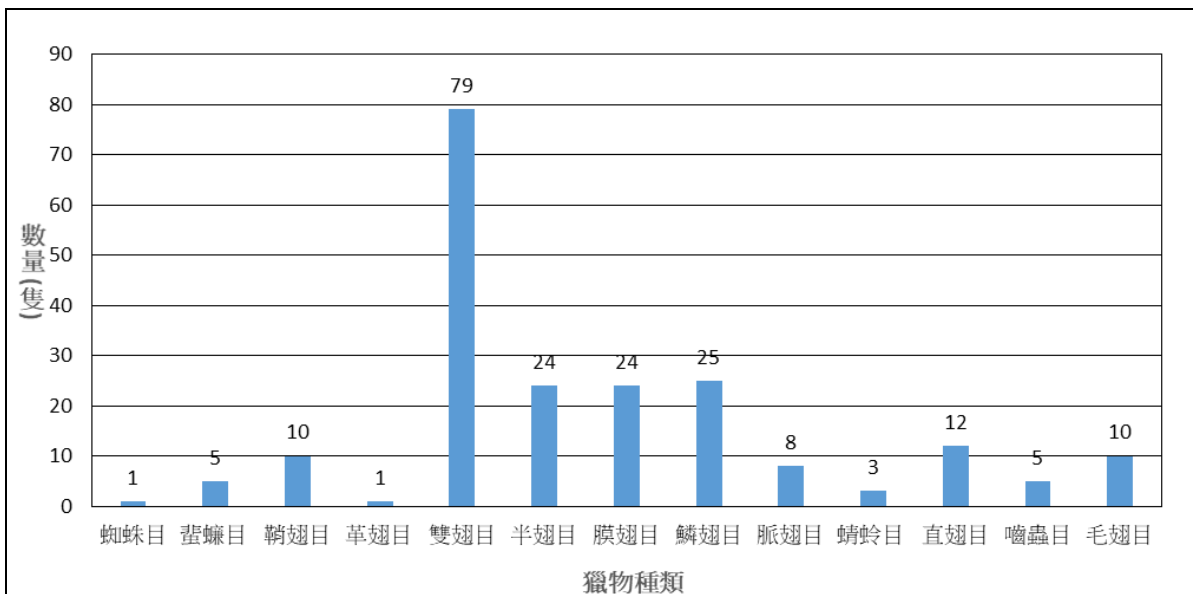


圖二十八、以拉伸測試儀測得不同蛛網縱絲之絲強度曲線變化圖；縱軸為絲強度，單位為牛頓；橫軸為絲拉伸長度，單位為 mm。(A：西里銀腹蛛 (LC07)， B：大人面蜘蛛 (NP01)， C：小人面蜘蛛 (TC01))

實驗三、探討西里銀腹蛛結網角度與捕蟲率之關係

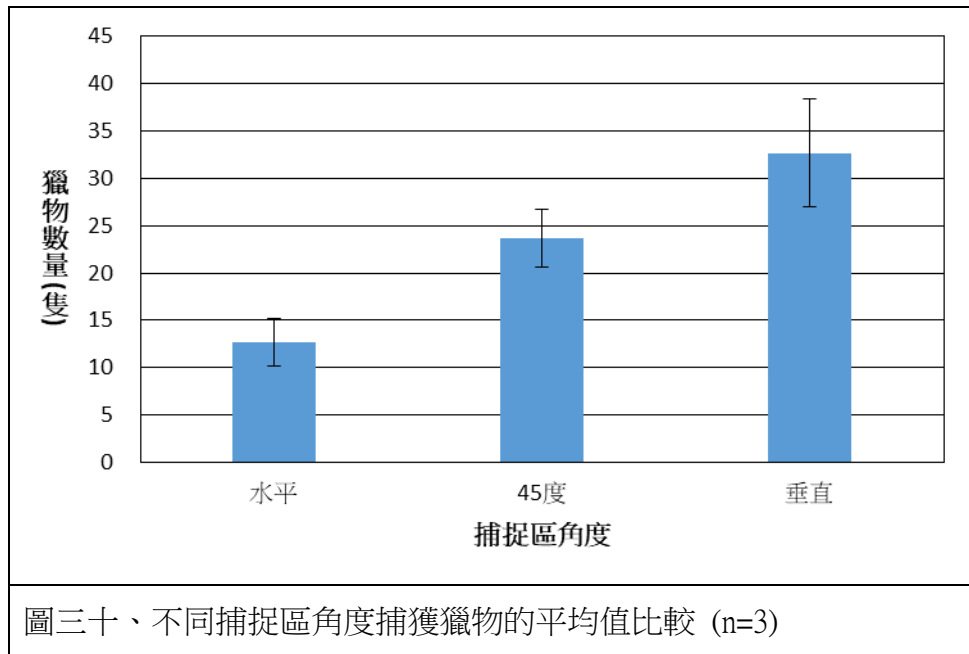
在野外所進行的 3 次的捕蟲率的實驗，於樣區總共捕獲獵物種類共 13 個目 (圖二十九)，其中以雙翅目最多 (79 隻)，其次為鱗翅目 (25 隻)、膜翅目 (24 隻) 及半翅目 (24 隻)。

捕捉區角度為水平之捕蟲數平均值為 12.67 ± 2.52 隻 (n=3)；捕捉區角度為 45 度之捕蟲數平均值為 23.67 ± 3.06 隻 (n=3)；捕捉區角度為垂直之捕蟲數平均值為 32.67 ± 5.69 隻 (n=3)。(圖三十)



圖二十九、野外樣區總捕獲獵物種類及數量

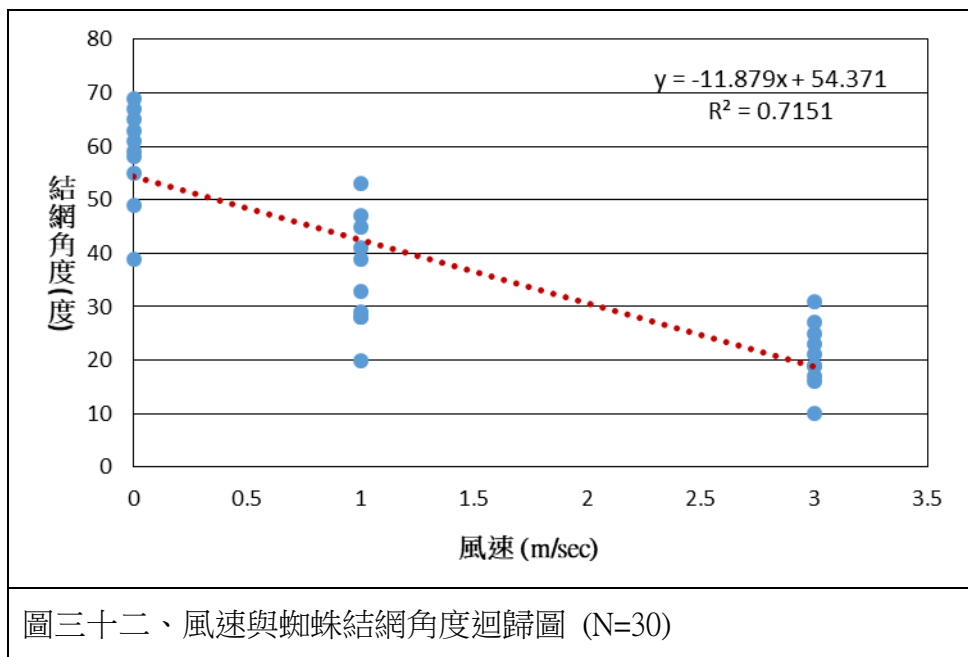
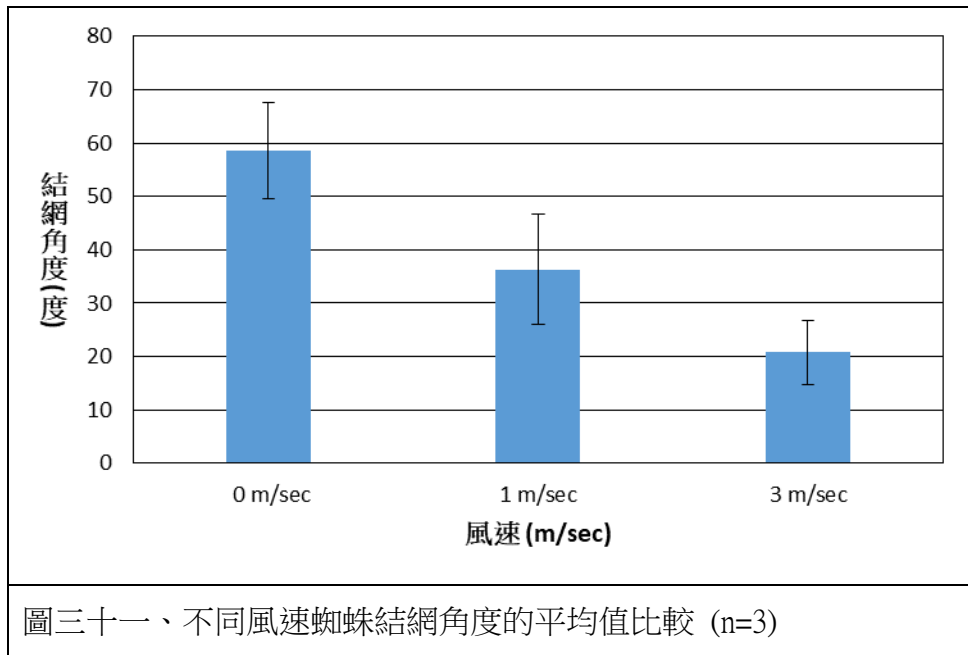
捕蟲率實驗中，垂直捕捉區組別三次總捕獲獵物共 96 隻，45 度捕捉區組別三次總捕獲獵物共 73 隻，水平捕捉區組別三次總捕獲獵物共 38 隻，經單因子變異數分析 (ANOVA) 進行組間捕蟲數差異分析，結果顯示， p 值 = 0.0015，小於 0.05，否定虛無假設，即各組間捕蟲數有明顯差異。



實驗四、探討不同風力強度對西里銀腹蛛結網角度之影響

本實驗中，三種不同風速處理各進行 10 次，結果顯示，無風狀態之組別，蜘蛛結網角度從 39 度至 69 度，平均值為 58.5 ± 9.03 度 (n=10)；風速為 1 m/sec 之組別，蜘蛛結網角度從 20 度至 53 度，平均值為 36.3 ± 10.36 度 (n=10)；風速為 3 m/sec 之組別，蜘蛛結網角度從 10 度至 31 度，平均值為 20.8 ± 6.01 度 (n=10)；若我們將三種不同風速處理組別進行單因子變異數分析 (ANOVA)，結果顯示， p 值 = $1.33E-09$ ，遠小於 0.05，否定虛無假設，即不同風速組別間蜘蛛結網角度有明顯差異 (圖三十一)。

若我們針對各種風速與結網角度進行迴歸分析，結果顯示，迴歸模式的顯著性檢定 (F 檢定)， p 值 = $4.04E-09$ ，遠小於 0.05，否定虛無假設，即至少有一個 β_i 不為 0，迴歸模型具有預測力，且此迴歸模型之判定係數 (R^2) = 0.7151，即風速與蜘蛛結網角成高度負相關 (圖三十二)。



陸、討論

實驗一、野外觀察記錄西里銀腹蛛、大人面蜘蛛及小人面蜘蛛結網相關資料

從野外實際觀察測量數據可以發現，西里銀腹蛛的結網角度可以從接近水平於地面之 9 度至接近垂直於地面之 70 度，其結網角度成常態曲線分布，以 46 - 50 度區間之結網角度最

常見，比起其他結平面圓網之蜘蛛如大人面蜘蛛、小人面蜘蛛之結網角度，西里銀腹蛛結網角度變異非常大，這是我們感興趣的問題，到底是何原因使西里銀腹蛛的結網角度變化如此大。

所以我們針對幾種在野外蜘蛛結網時會有差異的因子進行測量分析，如蜘蛛體長、結網面積、結網高度、結網方位，經由簡單迴歸分析我們發現，蜘蛛結網角度，與我們假設的幾種因子均無相關性。

蜘蛛網要承受獵物的撞擊，還要承受蜘蛛本身的重量，以及環境中的風吹、日曬、雨淋，所以我們認為西里銀腹蛛為了因應環境因子，如風力的大小應該會是以調整結網角度為其因應對策，故我們檢視了風力及捕蟲率在西里銀腹蛛結網角度上的重要性。

實驗二、西里銀腹蛛結網角度與絲強度關係

綜合以上幾種可能因子之檢視，均無法找出為何西里銀腹蛛結網角度變化如此大之原因，因此我們從絲強度來討論結網角度變化，因為曾有外國文獻指出，銀腹蜘蛛有時候會利用人面蜘蛛 (*Trichonephila clavipes*) 蛛網的框架絲當成自己的框架絲，當銀腹蜘蛛之蛛網與人面的蛛網聯合在一起時，銀腹蜘蛛的結網角度會較接近垂直於地面，作者認為銀腹蜘蛛是以此方式增強自己蛛網的強度，來加大結網角度，而作者推測銀腹蜘蛛以此方式增加結網角度駛往盡量垂直於地面，可以增加獵物的捕獲量 (Hénaut and Machkour-M' Rabet, 2010)。

所以我們實際測量了台灣的大人面蜘蛛及小人面蜘蛛網上縱絲的強度，結果顯示，其絲強度平均達到 0.2200 牛頓 (圖二十八)，比起我們野外採集的西里銀腹蛛各種結網角度 (9 度至 70 度) 之絲平均強度 0.0480 牛頓高很多，這也可以解釋為何人面蜘蛛結網角度為何可以幾乎與地面垂直，且不太換網，因為其蛛網強度較強。

雖然我們沒有在野外發現西里銀腹蛛與大人面蜘蛛一起結網，但我們推測西里銀腹蛛可以透過吐絲的過程來改變絲的強度，因為蜘蛛絲的主要成分為蛋白質，是由許多不同胺基酸組成，主要以甘胺酸 (Glycine)、丙胺酸 (Alanine)、絲胺酸 (Serine) 及脯胺酸 (Proline) 佔大部分，蜘蛛可以按照不同的基因生產不同的由重複的胺基酸單元的絲蛋白，例如 (GA)_n、(A)_n 及 GGX，其中 (GA)_n 及 (A)_n 單元會形成蜘蛛絲蛋白中 β -sheet 結構，而 GGX 則會形成 helix，當蜘蛛絲液體蛋白由腺體到絲疣至離開體內的時候，會以物理作用使絲蛋白的

分子所形成的 helix 及 β -sheet 結構重新排列形成固體的蜘蛛絲，此外，絲疣的內部具有肌肉，也可以控制所拉出之絲的粗細，這些因素都會影響蜘蛛絲的強度（童曄哲等，2005；卓逸民，2016）。

從我們的絲強度實驗結果可以發現，的確西里銀腹蛛結網角度越大，其絲強度也越強，但相對可能需要消耗更多能量；另外，相關文獻也指出蜘蛛體內營養成分也會影響蜘蛛所結網之強度，所以蜘蛛當下體內養分，尤其是組成蜘蛛絲蛋白的胺基酸組成會影響其是否能產生強度夠強的蜘蛛絲（曾怡璇，2011）。

實驗三、西里銀腹蛛結網角度與捕蟲率之關係

蜘蛛結網角度大，即越接近垂直地面有何好處，若根據之前外國文獻所描述，當銀腹蜘蛛與人面蜘蛛的網聯合在一起時，銀腹蜘蛛的結網角度會較接近垂直於地面，作者推論捕獲的獵物可能會增加（Hénaut and Machkour-M' Rabet, 2010）。

從我們的捕蟲實驗結果顯示，當模擬蜘蛛網之捕捉區越垂直於地面時，即結網角度越大時，的確其捕蟲率明顯增加。

實驗四、不同風力強度對西里銀腹蛛結網角度之影響

既然結網角度越垂直於地面，能夠捕獲獵物較多，為何有些西里銀腹蛛結網角度會接近水平。曾有文獻指出，環境中的強風會影響二角塵蛛蜘蛛絲性質及蜘蛛網結構，例如，使蜘蛛絲具更強之物性以防止圓網破裂，或結出更小、更疏之網以減少風阻，也就是說棲習於不同強風干擾程度的蜘蛛其絲及圓網具有變異性以及表型可塑性（廖鎮磐，2008；吳兆佳，2012）。

所以我們認為結網角度越大，受風面越大，而我們的實驗結果的確發現，當我們把風速加強時，蜘蛛結網角度明顯變小，

綜合以上結果，西里銀腹蛛為了增加捕蟲率會盡量結出垂直於地面的網，但相對的，結網角度越大，受風面越大，蜘蛛就必需花較多能量結出強度較強的蛛網，因此蜘蛛可能會因為結網當時微棲地的風速大小，再加上蜘蛛當時體內養分充足量差異之下，影響結網角度，也就是說，蜘蛛必須考量各種情況，在增加捕蟲率及耗費較多能量結強度較強蛛網之間做取捨。

柒、結論

根據上述結果討論，我們歸納出以下幾點結論：

- 一、西里銀腹蛛結網角度與蜘蛛體長、網面積大小、結網方位及結網高度均無關聯性。
- 二、西里銀腹蛛結網角度越大，捕蟲率越高。
- 三、西里銀腹蛛結網角度越大，絲強度越強。
- 四、風力越強，西里銀腹蛛結網角度越小，因此野外西里銀腹蛛結網角度越大，其絲強度會越強，以抵抗風力破壞。
- 五、綜合以上結果，我們推論野外西里銀腹蛛會在增加捕蟲率與是否能花足夠能量來結較強的網之間取捨，因此結網角度變化極大，可從 9 度至 70 度，以 46 - 50 度最常見。

捌、參考文獻資料

- 一、Hénaut Y, Machkour-M' Rabet. (2010). Interspecific aggregation around the web of the orb spider *Nephila clavipes*: consequences for the web architecture of *Leucauge venusta*. *Ethology Ecology & Evolution*, 22, 203-209.
- 二、吳兆佳 (2012) · 風干擾對二角塵蛛絲及黏滴特性之影響 (碩士論文) · 台中市：國立中興大學生命科學系。
- 三、卓逸民 (2016) · 網路高手-蜘蛛 · *科學研習*, 55, 28-35。
- 四、曾怡璇 (2011) · 獵物營養成分及振動訊號對人面蜘蛛的絲及網性質之影響 (碩士論文) · 台中市：國立中興大學生命科學系。
- 五、陳建勳、白鎮豪、楊鈞豪、石聿恆 (2001) · 中形銀腹蜘蛛的結網行為與生態適應之探討 · 中華民國第 41 屆中小學科學展覽會。
- 六、童暉哲、林雍傑、林鈺書、鄧偉豪 (2005) · “絲”路之旅 - - 環境因子對蜘蛛絲張力之影響及胺基酸組成分析 · 中華民國第 45 屆中小學科學展覽會。
- 七、廖鎮磐 (2008) · 環境中強風干擾對於蜘蛛絲性質及蜘蛛網結構之影響 (碩士論文) · 台中市：東海大學生命科學系。

【評語】 030314

1. 本研究從結網角度、結網面積、蜘蛛體長、結網高度及結網方位、結網角度與受風面及捕蟲率的關係，經野外調查與量測蜘蛛絲強度證明彼此之間的關係。
2. 實驗計畫設計周全，變因控制得宜，並以統計方法對實驗結果進行科學性支持。整體而言作品的完整度高。
3. 西里銀腹蜘蛛是否會因獵物重量不同而織出不同強度的蜘蛛絲？
4. 絲蛋白由不同的重複性胺基酸單元所組成，故未知作者是否有興趣進一步研究西里銀腹蛛結網的絲線係由何種胺基酸單元排列所組成？

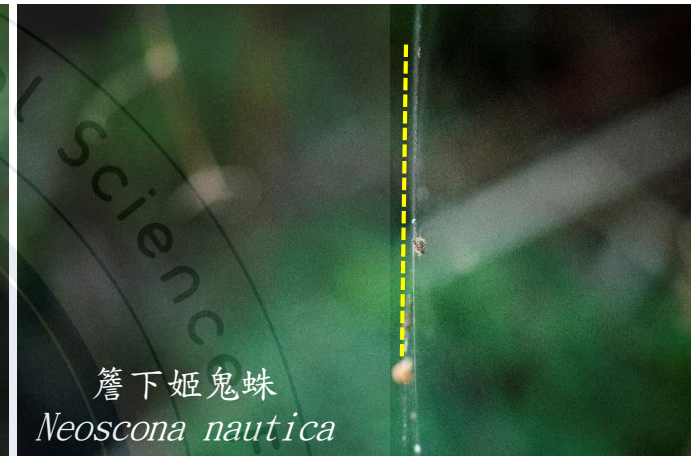
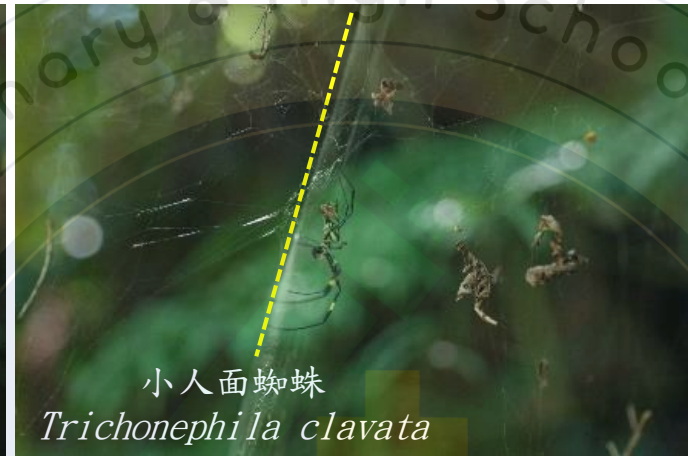
作品簡報



西里銀腹蛛結網角度變異
之功能性探討

國中組
生物科

研究動機



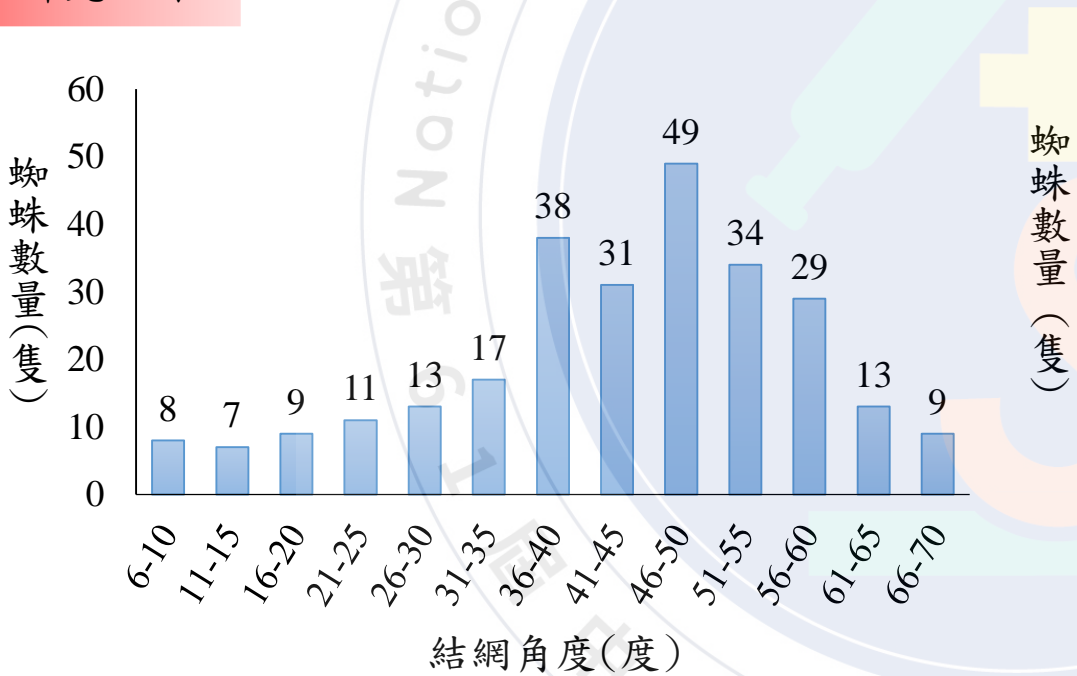
欲解決問題：野外西里銀腹蛛結網角度為何變異如此大？

實驗一、野外觀察記錄目標蜘蛛結網相關資料

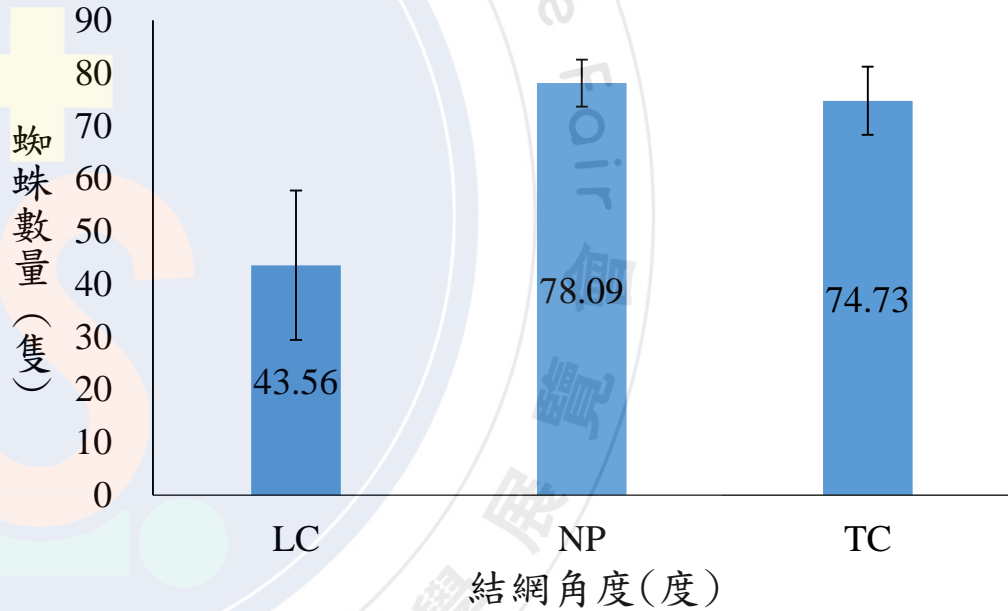
研究流程

針對野外西里銀腹蛛、大人面蜘蛛、小人面蜘蛛之結網角度、蜘蛛體長、結網面積、結網高度及結網方位進行測量、記錄。

研究結果



圖一、西里銀腹蛛野外族群結網角度分布圖 (N=268)



圖二、各種蜘蛛結網角度的平均值比較；

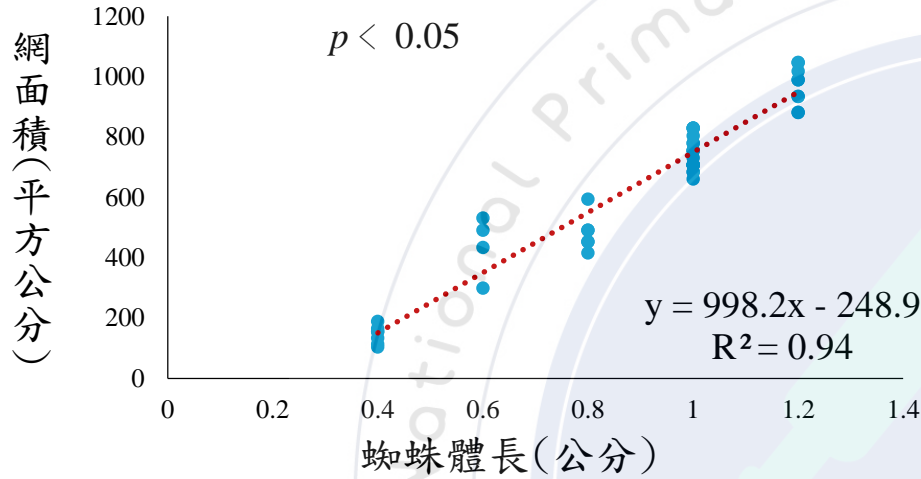
LC：西里銀腹蛛 (n=268)

NP：大人面蜘蛛 (n=23)

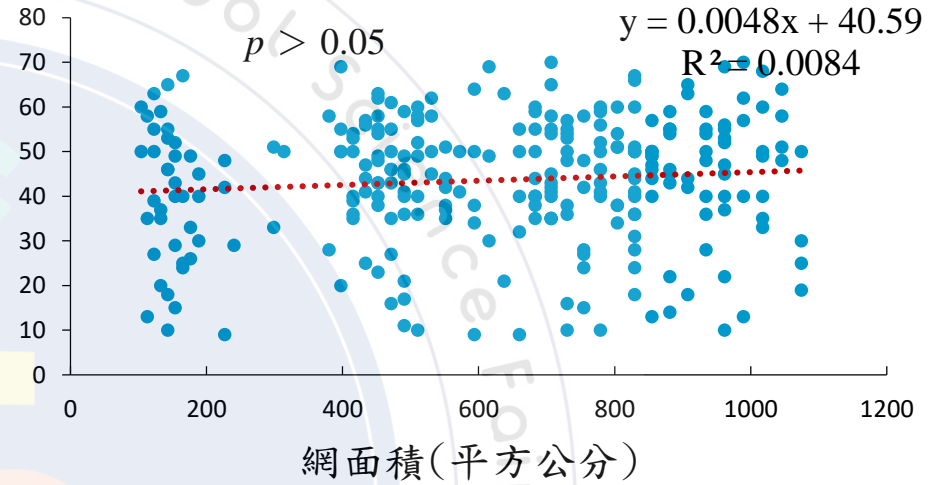
TC：小人面蜘蛛 (n=11)

實驗一、野外觀察記錄目標蜘蛛結網相關資料

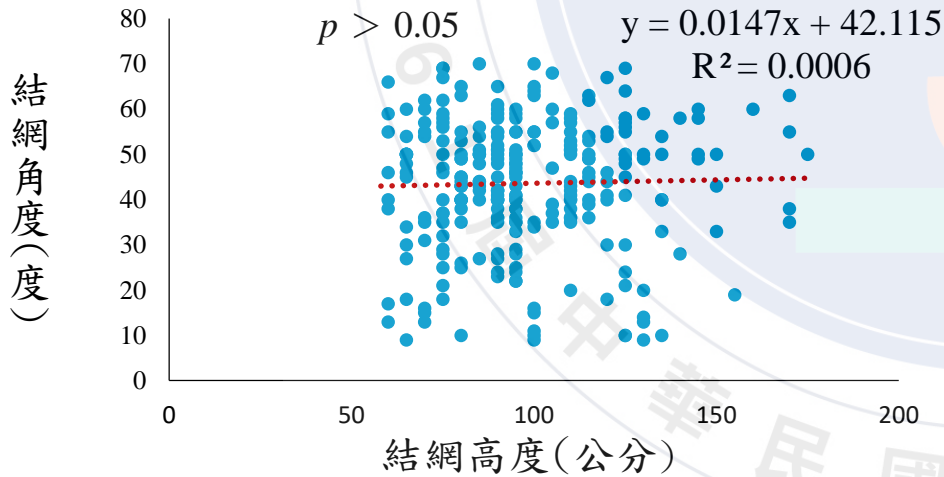
研究結果



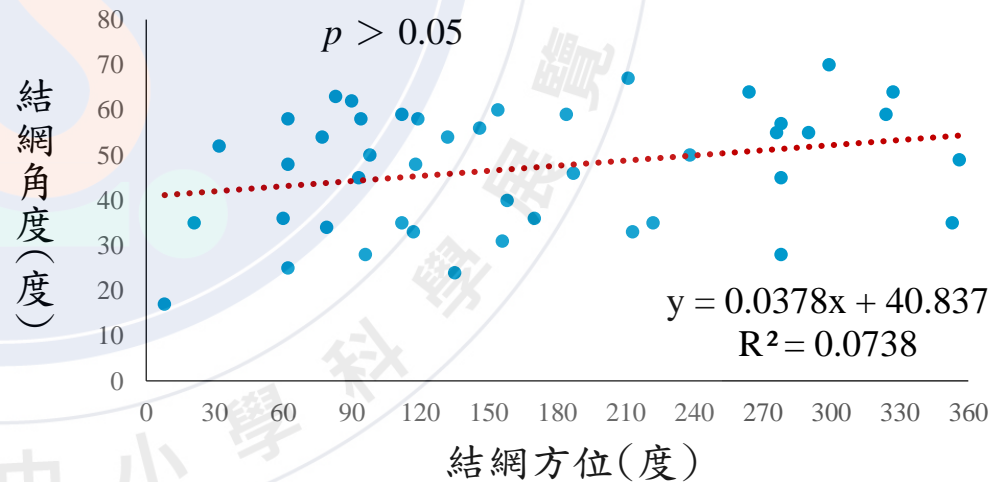
圖三、西里銀腹蛛體長與結網面積迴歸圖(N = 44)



圖四、西里銀腹蛛結網面積與結網角度迴歸圖(N = 268)



圖五、西里銀腹蛛結網高度與結網角度迴歸圖(N = 268)

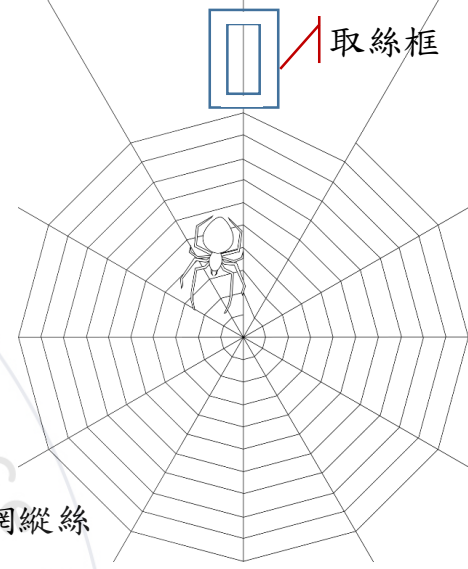


圖六、西里銀腹蛛結網方向與結網角度迴歸圖(N = 44)

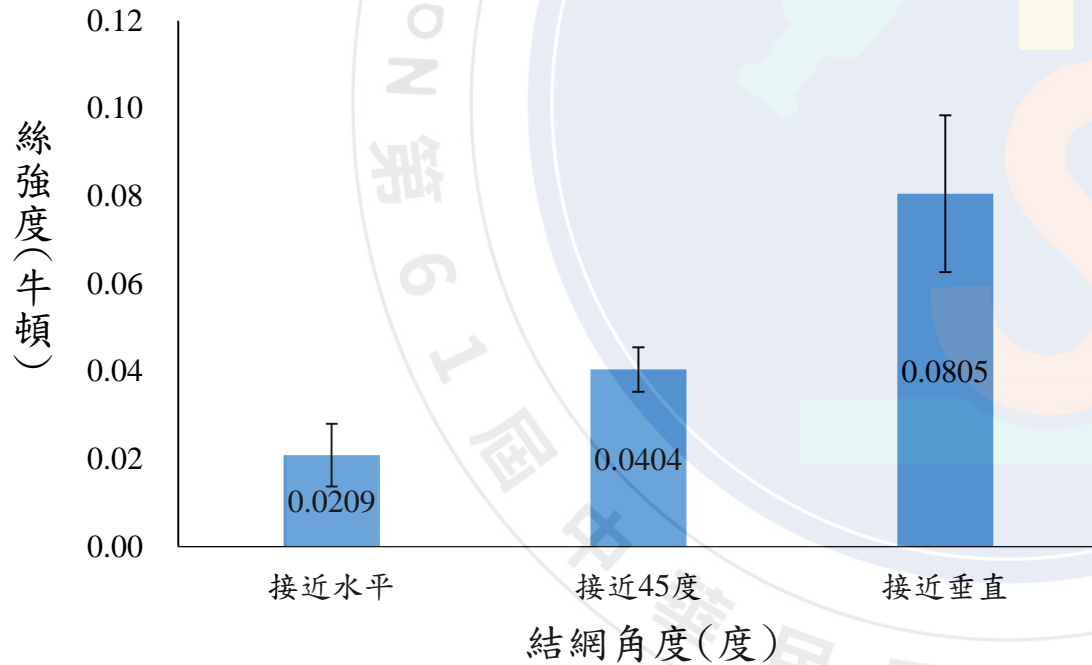
實驗二、探討目標蜘蛛結網角度與絲強度關係

研究流程

框取西里銀腹蛛、大人面蜘蛛、小人面蜘蛛不同結網角度縱絲(圖七)，以拉伸測試儀測量蜘蛛絲強度。

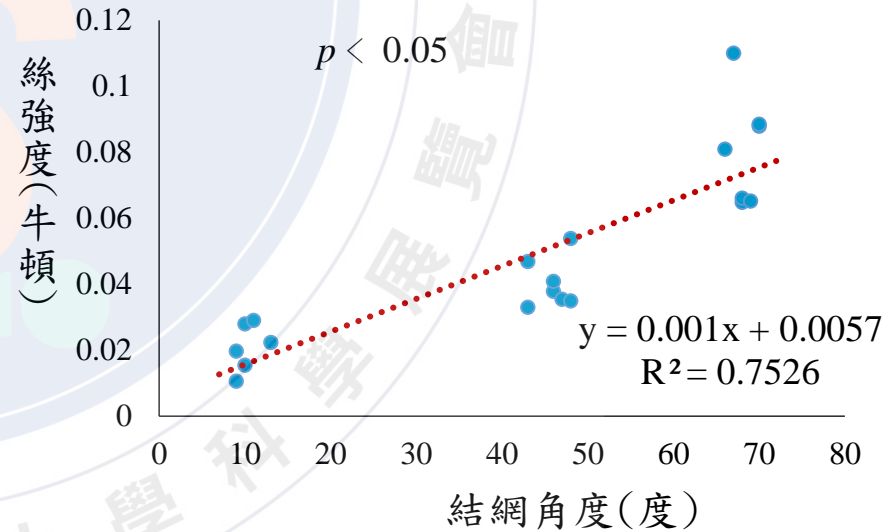


研究結果



圖八、西里銀腹蛛不同結網角度縱絲強度的平均值比較 (n=7)

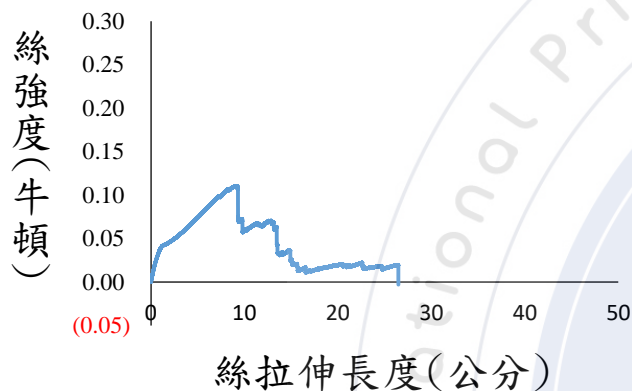
圖七、以取絲框夾取蜘蛛網縱絲
圖修改自：SeekPNG



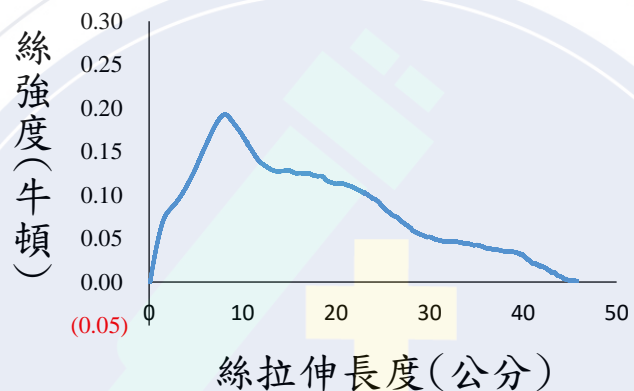
圖九、西里銀腹蛛結網角度與蛛網縱絲強度迴歸圖 (N=20)

實驗二、探討目標蜘蛛結網角度與絲強度關係

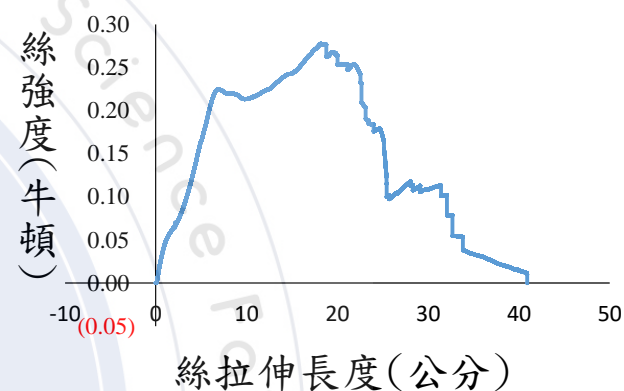
研究結果



圖十、以拉伸測試儀測得西里銀腹蜘蛛網縱絲之絲強度曲線變化圖 (LC07)



圖十一、以拉伸測試儀測得大人面蜘蛛網縱絲之絲強度曲線變化圖 (NP01)



圖十二、以拉伸測試儀測得小人面蜘蛛網縱絲之絲強度曲線變化圖 (TC01)

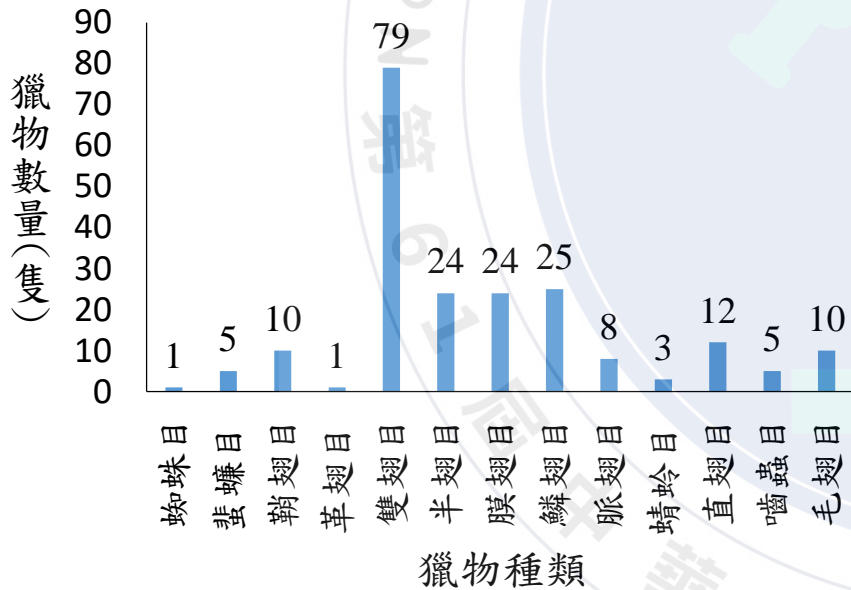
- 西里銀腹蜘蛛結網角度越大，縱絲強度越強。
- 小人面蜘蛛、大人面蜘蛛縱絲強度遠大於西里銀腹蜘蛛。

實驗三、探討西里銀腹蛛結網角度與捕蟲率之關係

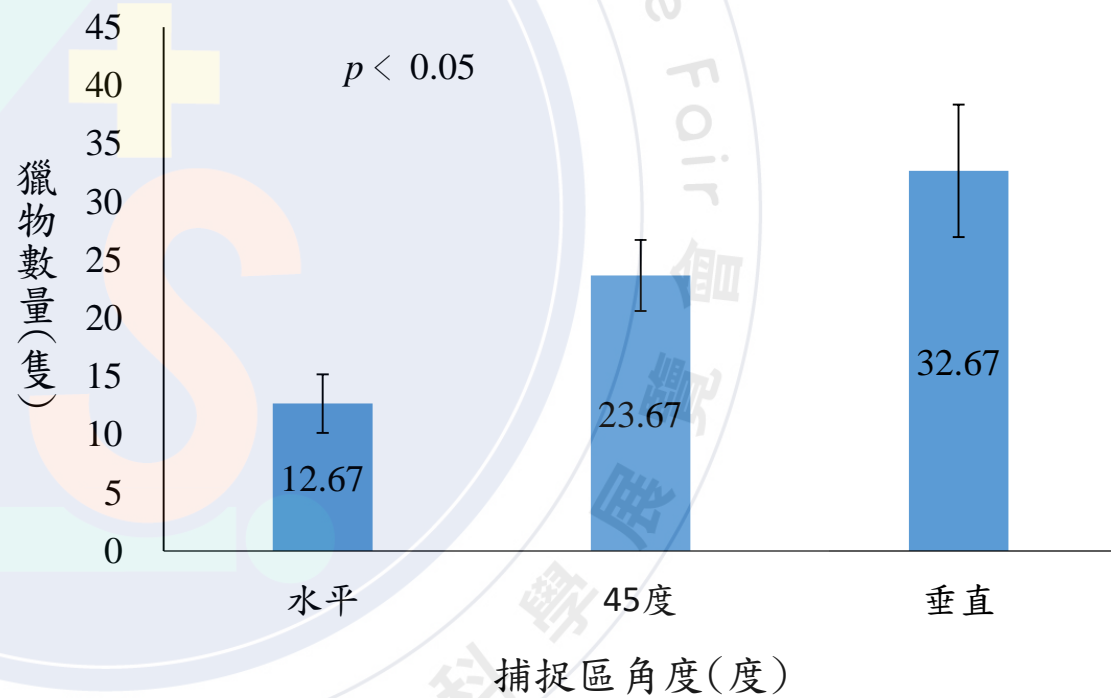
研究流程

於野外設置模擬蜘蛛網3種不同角度(水平、45度、垂直)的捕蟲裝置，用以推測不同角度之蜘蛛網捕蟲率之差異。

研究結果



圖十三、野外樣區總捕獲獵物種類及數量



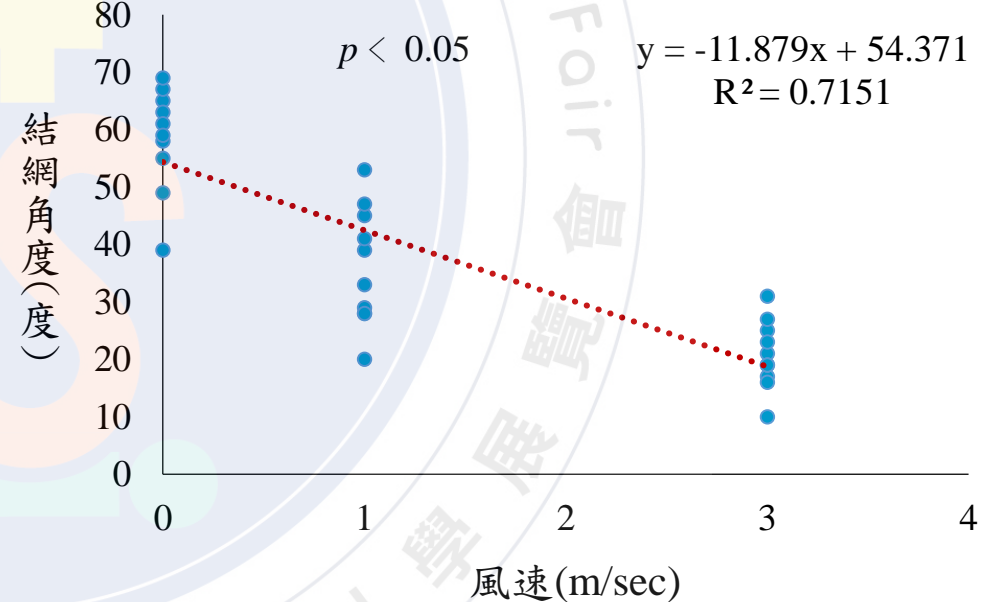
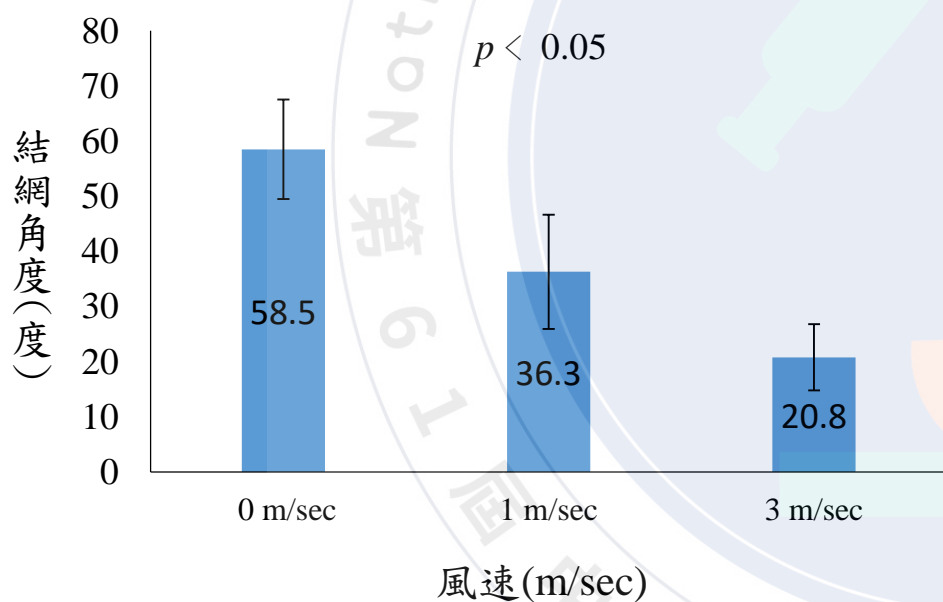
圖十四、不同捕捉區角度捕獲獵物的平均值比較 (n = 3)

實驗四、探討不同風力強度對西里銀腹蛛結網角度之影響

研究流程

於實驗室內操控風力來檢視不同風力大小之下西里銀腹蛛結網角度之變化。

研究結果



圖十五、不同風速蜘蛛結網角度的平均值比較(n=10)

圖十六、風速與蜘蛛結網角度迴歸圖(N=30)

討論、結網角度對捕蟲率之影響

- 銀腹蜘蛛蛛網與人面蜘蛛蛛網連結時，銀腹蜘蛛結網角度較垂直於地面 (Hénaut & Machkour-M'Rabet, 2010)



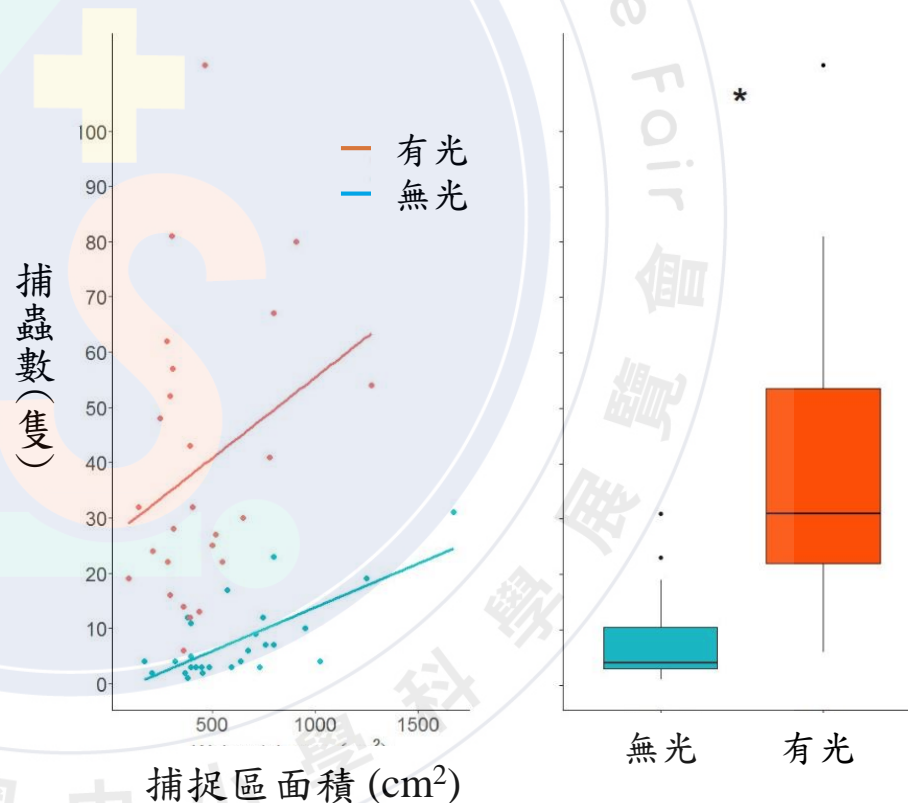
作者推測

結網角度越垂直於地面可能有利於捕蟲效果



文獻顯示

- 蜘蛛網捕捉區越大，捕蟲數越高 (Gomes, 2020)



圖十七：蜘蛛網捕捉區面積與捕蟲數關係 (Gomes, 2020)

討論、風力對蜘蛛網性質之影響

■ 風的干擾後：改變網結構 (廖鎮磐, 2008)

1. 網縱絲減少
2. 橫絲間隔加大
3. 捕捉區變小

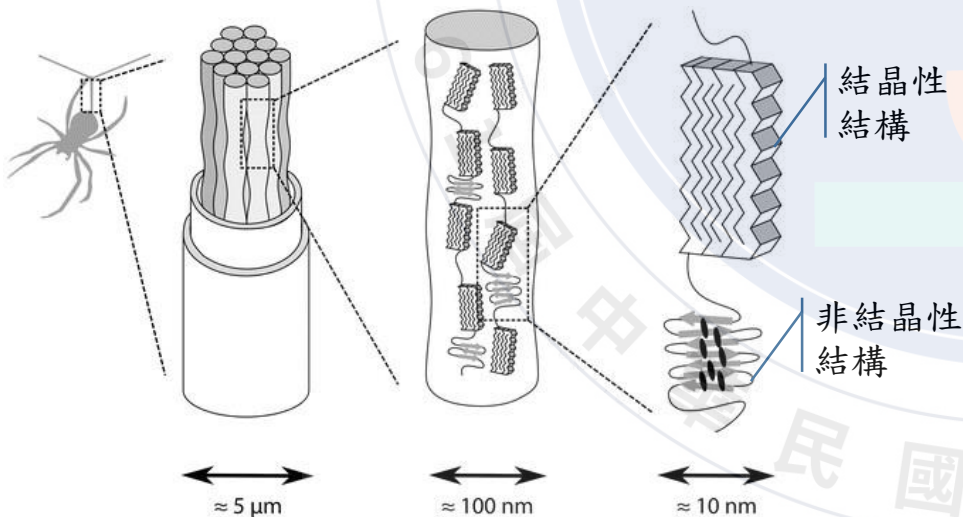
表一、風力干擾對網結構之影響 (取自：廖鎮磐, 2008)

	網結構			
	縱絲條數	橫絲間隔	捕捉區面積	總絲長度
無風干擾	3.08 ± 4.03	1.26 ± 0.05	32.69 ± 3.41	98.71 ± 9.10
有風干擾	9.60 ± 1.60	1.90 ± 0.16	20.9 ± 1.75	50.72 ± 3.70
F	12.69	9.882	11.441	31.058
P	0.001	0.004	0.002	< 0.001

■ 風的干擾後：絲強度增強 (廖鎮磐, 2008)

表二、風力干擾對絲特性之影響 (取自：廖鎮磐, 2008)

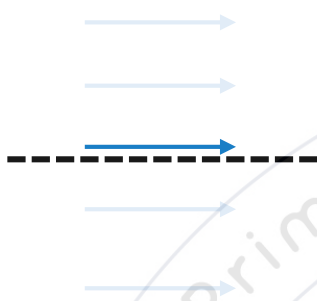
	絲特性		
	絲直徑	絲延展度	絲強度
無風干擾	1.27 ± 0.09	16.38 ± 0.88	719 ± 55.18
有風干擾	1.10 ± 0.08	19.21 ± 0.89	1012 ± 59.18
F	2.132	5.116	13.071
P	0.157	0.033	0.001



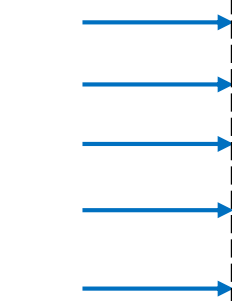
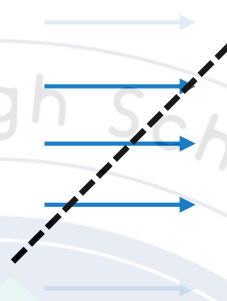
結論



Wind



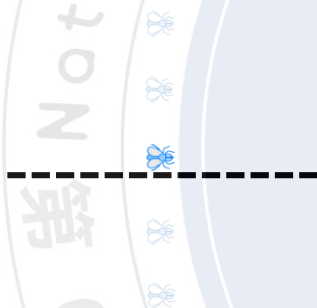
受風面小
絲強度較弱
花費能量較少



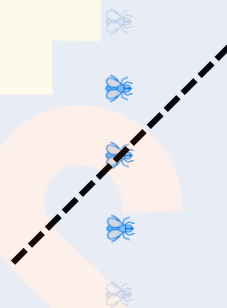
受風面大
絲強度較強
花費能量較多



Fly

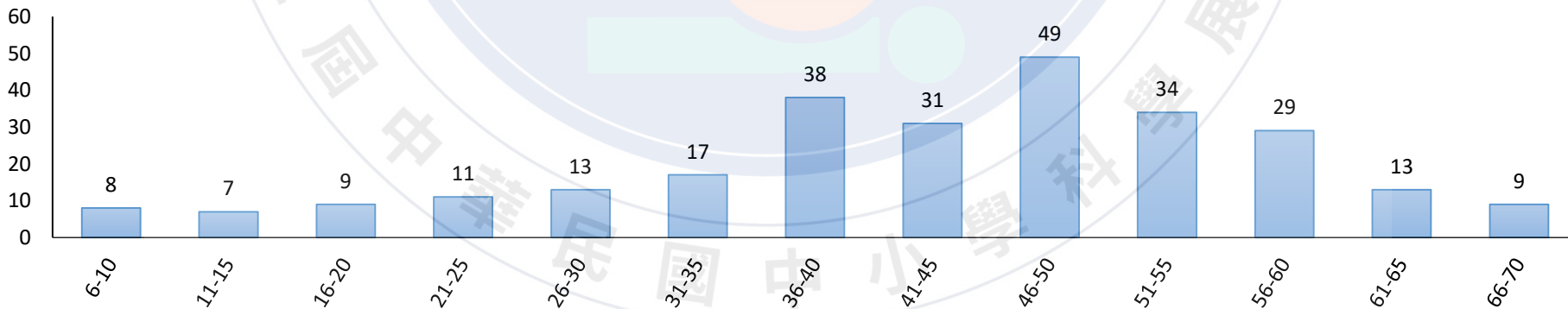


捕蟲數少



捕蟲數多

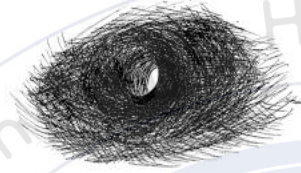
蜘蛛數量(隻)



結網角度(度)

■ 不同類型蛛網是否有不同策略因應環境因子變化？

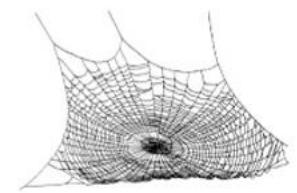
漏斗網 (草蛛科)



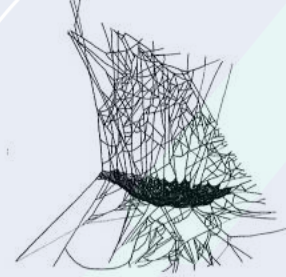
垂直圓網 (金蛛科)



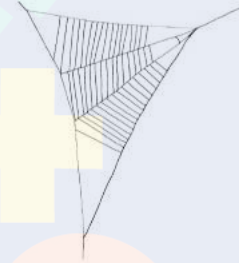
水平圓網 (長腳蛛科)



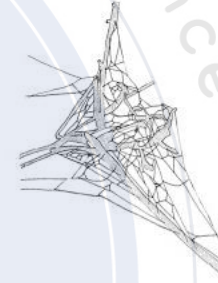
皿網 (皿網蛛科)



簡化圓網 (渦蛛科)



糾結網 (姬蛛科)



不規則網 (葉蛛科)



圖修改自 (Wijerathna,2016)

參考文獻資料

- [1] Gomes, D. G. E. (2020). Orb-weaving spiders are fewer but larger and catch more prey in lit bridge panels from a natural artificial light experiment. *PeerJ*, 8, e8808.
- [2] Hénaut, Y. & Machkour-M'Rabet, S. (2010). Interspecific aggregation around the web of the orb spider *Nephila clavipes*: consequences for the web architecture of *Leucauge venusta*. *Ethology Ecology & Evolution*, 22, 203-209.
- [3] Wijerathna, T. (2016). *An investigation of the variations in morphometry and the web architecture of the giant wood spider (Nephila pilipes) in forest and non-forest habitats in the Wet Zone of Sri Lanka* (B. Sc. thesis). University of Kelaniya.
- [4] 吳兆佳 (2012) · 風干擾對二角塵蛛絲及黏滴特性之影響 (碩士論文) · 台中市：國立中興大學生命科學系。
- [5] 曾怡璇 (2011) · 獵物營養成分及振動訊號對人面蜘蛛的絲及網性質之影響 (碩士論文) · 台中市：國立中興大學生命科學系。
- [6] 廖鎮磐 (2008) · 環境中強風干擾對於蜘蛛絲性質及蜘蛛網結構之影響 (碩士論文) · 台中市：東海大學生命科學系。