中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組　動物與醫學學科

(鄉土)教材獎

052005

膝型渦蛛隱帶性質與功能探討

學校名稱： 國立花蓮高級中學

作者：	指導老師：
高一 高阡越 高一 黃暄皓 高一 曾昱辰	張端雅

關鍵詞： 膝型渦蛛、隱帶

摘要

本篇科展為探討膝型渦蛛 *Zosis geniculata* 的習性及其隱帶性質與功能。我們發現膝型渦蛛偏好在黑暗環境織網，並在習性調查中，發現它會在夜間拆網、織網，清晨重新織隱帶，因此我們認為其屬全日型蜘蛛。主要獵物為鞘翅目、鱗翅目及雙翅目中的小型昆蟲。

我們將隱帶的形狀分為螺旋型、直線型、圓盤狀、薄膜狀四種，不符上述分類的則歸為不規則型。此外，發現隱帶絲線分佈方式可分成兩種：平均散佈型及簇型。我們還發現隱帶絲線具有顏色，最常出現藍、綠、粉紅等色澤。透過實驗，我們證明了即使在同樣的環境條件下，膝型渦蛛仍會織出不同形狀的隱帶；而成長階段不會影響其隱帶的形狀及顏色；織隱帶的能力也不受遺傳限制。

壹、 前言

圖(1) 膝型渦蛛
雄蛛(左)，雌蛛(右)

膝型渦蛛（*Zosis geniculata*）分類階層屬於動物界 Animalia » 節肢動物門 Arthropoda » 蛛形綱 Arachnida » 蜘蛛目 Araneae » 渦蛛科 Uloboridae » Zosis。雌蛛體長約為 3.6~5mm，體色為灰白至灰褐色，腹部呈橢圓形，背面微隆起，左右各有 3 枚白色下斜的斑紋排列，白斑基部有黑色斑，步足為灰白色，腿脛節也具有黑色斑。雄蛛體長約 4~6 mm。全身黃褐色，背甲兩側各有一條黑褐色縱帶，腹部較為低矮。成蛛的隱帶具有各種型態。廣泛分布於臺灣各地的低海拔山區和平地。多棲息於人造建築物的牆角，或偶而在闊葉樹林底層較陰暗的處所，結傾斜圓網，網心有薄幕狀的螺旋形隱帶，蜘蛛常躲藏在隱帶下方。生殖季節，常見 1~3 個多角形的黃褐色卵囊放置在網上。當其受干擾時，常沿著主要的輻絲（經絲）向上爬行逃逸。(陳世煌，民 90)

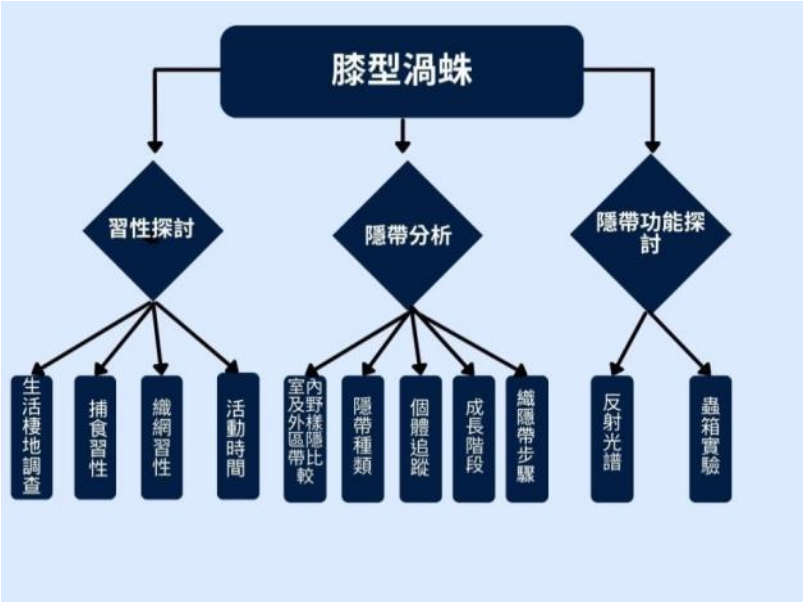
隱帶，常位於蜘蛛網中心，是由葡萄狀腺絲所構成較為密集的網結構，目前已知會結隱帶的蜘蛛多為金蛛科及渦蛛科成員。現有研究對隱帶的功能尚無定論，但已有一些主流假說，包括吸引獵物、防禦天敵及視覺警示。(博學多文網路期刊)。

現有文獻雖有膝型渦蛛的外型、解剖結構相關之完整描述，但關於習性、獵捕對象等紀錄則較少。此外，許多假說是以金蛛科的蜘蛛為研究對象得出的，並不知道是否適用於渦蛛科的成員。本研究首先對膝型渦蛛膝型渦蛛的織網習性、獵捕對象等做了完整的紀錄，接著針對膝型渦蛛各式各樣的隱帶進行歸納分類、性質紀錄，最後試著了解隱帶的生態功能，是否與吸引獵物有關。

貳、 研究設備及器材

圓形塑膠盆	日光燈管	定時器	光亮裝置	黑暗裝置
光度計	NIKON SMZ745 解剖顯微鏡	PASCO WIRELESS SPECTROMETER 光譜儀		

參、 研究過程及方法



一、 膝型渦蛛基本習性探討

因為經文獻查詢後大多只針對外型描述但有關膝型渦蛛的基本習性資料很少，因此在研究的前部分，我們想先了解膝型渦蛛的生活環境、捕食對象、捕食行為、織網習性及活動時間等基本習性，這將有助於我們後續探討隱帶的功能。

(一) 生活棲地調查

我們在學務處及榕樹發現膝型渦蛛的蹤跡，文獻中有說明膝型渦蛛偏好棲息在人造建築物牆角及野外榕樹根部縫隙，正好符合我們的觀察。而我們也好奇膝型渦蛛平常的生活環境，因此我們在其棲息地紀錄光照度。我們挑選了學務處及教務處作為室內樣區；學務處前方、教務處後方及科學館前方的榕樹作為野外樣區。

(二) 捕食習性

統整關於隱帶的文獻，隱帶功能的假說為：隱帶可能可以增加捕食率，因此我們想透過了解膝型渦蛛的獵物為何，並希望能了解獵物會被甚麼光波段吸引，進而了解隱帶的可能功能。我們透過在膝型渦蛛棲息地放置黏蠅板及食渣分析了解其捕食對象。食渣分析方法，參考國外論文，利用含氯漂白水浸泡食渣 10 秒鐘，可將食渣上的蜘蛛絲分解掉(Vetter RS,BruyeaGP,VisscherPK, 1996)，以方便觀察獵物屍骸。我們也利用攝影機觀察膝型渦蛛織網過程並分析其捕食行為

(三) 織網習性

我們一開始進行實驗時發現有開燈的情況下，膝型渦蛛較不織網，我們猜測影響其織網因素可能為光照環境。因此我們做了兩種實驗了解光照/黑暗環境如何影響膝型渦蛛織網。

1. 24 小時全光照及 24 小時全黑暗實驗

光照組：在飼養盆上放置日光燈管；黑暗組：將飼養盆放進紙箱並蓋起來，以在白天時保持黑暗，24 小時後確認織網結果，破壞網後再重複實驗。

2. 12 小時黑暗及 12 小時光照

我們想了解膝型渦蛛是需要在黑暗環境織網（外在環境）還是需要在夜晚織網（內在生理時鐘）因此我們將膝型渦蛛放在兩種環境下，分別是白天時光照/夜晚時黑暗 12hrL/12hrD（正常生理時鐘）及白天時黑暗/夜晚時光照 12hrD/12hrL（違反正常生理時鐘）並每 12 小時紀錄一次。

(四) 活動時間

為了確認膝型渦蛛在自然環境中的活動情況，我們利用攝影機觀察其活動行為，希望可以了解它的捕食活動旺盛期，進而試著推斷膝型渦蛛的主要活動時間。

二、 膝型渦蛛隱帶歸納分析

(一) 野外及室內樣區的隱帶形狀占比統計

我們觀察到到膝型渦蛛的隱帶有各種各樣的形狀，便好奇這些不同的形狀出現的頻率。於是我們在四月到六月這段期間，拍照記錄野外及室內樣區中的蜘蛛網，並統計樣區中出現的各種形狀隱帶之占比。

(二) 歸納隱帶種類及定性描述

為方便後續實驗記錄，我們透過肉眼觀察、搭配解剖顯微鏡放大隱帶細節，將隱帶進行歸納分析。

(三) 個體追蹤實驗

統計了野外及室內樣區之隱帶形狀占比後，我們發現即使是位於同一樣區內的蛛網會出現各種形狀的隱帶。我們便好奇環境是否會影響隱帶的形狀，或者，可能是基因造成膝型渦蛛只能織出固定形狀的隱帶，就像豌豆只會表現出特定的性狀一樣。

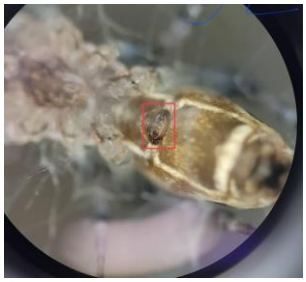
為了驗證此假設，我們將 37 隻膝型渦蛛移入實驗室內，讓他們在完全相同的飼養條件下結網，並每日追蹤、拍照記錄其隱帶形狀。我們每次紀錄完形狀後皆會破壞蛛網，以確保每天得到的都是新織的蛛網。

(四) 成長階段與隱帶形狀關聯之分析

有文獻提到 *Argiope versicolor* 這種蜘蛛的若蛛及成蛛會織出不同形狀的隱帶 (W. K. SeahandD. Li, 2001)。我們觀察野外樣區中的膝型渦蛛時，亦發現野外樣區中的小若蛛似乎較常出現圓盤狀隱帶。為進一步確認，我們將**個體追蹤實驗**得到的每隻蜘蛛的隱帶追蹤紀錄，

按照不同成長階段分類後，重新統計各個成長階段的各個隱帶形狀占比，想確認膝型渦蛛的隱帶形狀是與成長階段有關。

我們分成以下 3 個成長階段 1.雌性成蛛(FA) 2.雄性成蛛(MA) 3.若蛛(S)。辨識成長階段的方法如下所述：

		
雌成蛛身上可以看到明顯的外雌器，外雌器形狀也符合文獻描述	雄成蛛身上可看到明顯的觸肢器構造。	較年幼的若蛛觀察不到生殖器構造，還沒有性別之分。

圖(2)

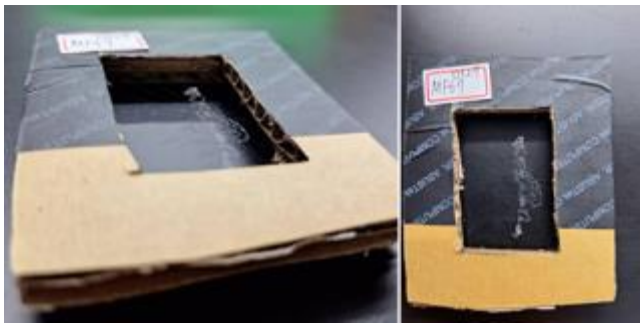
(五) 膝型渦蛛結隱帶步驟

Uloborus diversus 會在完整網完成後才結隱帶(Corver, A., Wilkerson, N., Miller, J., & Gordus, A. G. (2021))。但我們在實驗室飼養膝型渦蛛時，觀察到有些膝型渦蛛在尚未織網時就會結出一條類似直線隱帶的構造，因此我們便好奇膝型渦蛛織隱帶的順序是否與文獻紀載的不同。在了解膝型渦蛛的織網習性後，我們嘗試用紅外線攝影拍攝膝型渦蛛的織網過程。

三、 隱帶功能探討

(一) 反射光譜分析

我們在膝型渦蛛的隱帶中發現藍色、粉紅色及綠色等顏色的絲線，但這些都是我們用肉眼主觀看見的顏色，不確定能否代表整張隱帶實際反射出來的光波段，因此我們需要透過反射光譜更明確地描述隱帶反射的光波長，再與可能獵物的昆蟲視覺敏感波段進行比對，用以了解隱帶顏色與昆蟲的關係進而推測隱帶可能功能。我們利用紙板保存隱帶(如下圖(3))，並寄送給能夠協助我們測量的單位獲得各隱帶的反射光譜值。



圖(3)

沒灑碳粉　　有灑碳粉

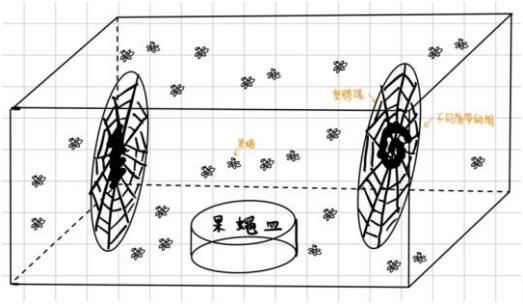
圖(4)

(二) 隱帶功能探討

最初我們在野外直接挑選兩張網，選其中一個隱帶撒上碳粉(如上圖(4))，並以紅外線攝影機直接觀察兩組捕獲量的差異，但因攝影機於夜晚時無法有良好的解析度，且於野外常會有一個時段出現大量飛蟲，干擾辨識；而雖然我們有目擊到數起大蚊和飛蟲直接撞擊網心，但我們對於飛行在空中的飛蟲是否有被吸引沒有明確的判斷標準，因此我們改使用蟲箱實驗來探討隱帶的功能。但因蟲箱的獵物只有果蠅，且無法模擬真正的野外環境，因此我們又增加了野外空網實驗來輔助我們的蟲箱實驗。

1. 蟲箱實驗

首先我們選用了長方形透明魚缸作為容器，並選用果蠅作為獵物，而在魚缸的兩側分別放置不同隱帶的網，經過一段時間後，比較兩張網的捕獲數量。實驗裝置如下圖(5)所示。



圖（5）

2. 野外空網實驗

我們運用和蟲箱實驗中相同取網子的方法：用透明的塑膠環套著網子的縱絲，就能夠在保持網面完整的情況取下網子。並將取下直接放置在野外環境，靜置一段時間後，比較捕獲獵物量的多寡。

接著我們想要從以下幾個面向探討隱帶功能：

（1） 隱帶上反射光線的有無對於吸引獵物的差異

我們認為隱帶存在的有無對於吸引獵物具有很大的差異，而由於我們無法在一張完成的網上移除已經織好的隱帶，因此我們選擇在隱帶上灑上碳粉，並量測撒上碳粉前後的反射光譜差異，再藉由蟲箱實驗以及野外空網實驗比較捕獲量的差異來驗證。

（2） 相同形狀但不同顏色隱帶的網吸引隱帶的差異

我們猜測隱帶上出現不同的顏色對於吸引獵物的效率也有差異，因此透過不同顏色但相同形狀的網子進行蟲箱實驗和野外空網實驗來驗證。

（3） 不同形狀的隱帶吸引獵物的差異

我們認為膝型渦蛛出現不同形狀的隱帶正是為了讓其在生存的環境能更有競爭力，不論是在獵食或是被獵食都能滿足最大利益。我們假設不同形狀的隱帶對獵物的吸引力不同，因此我們想找出吸引獵物效率最高的隱帶形狀。同樣藉由蟲箱實驗以及野外空網實驗比較捕獲量的差異來驗證。

肆、 研究結果

一、 膝型渦蛛基本習性探討

(一) 生活棲地調查

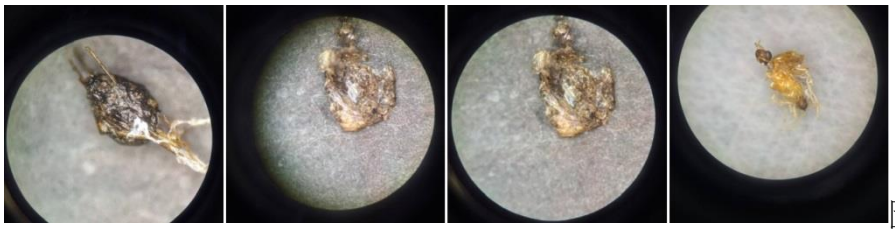
我們做了兩次樣區調查，第一次記錄了室內膝型渦蛛的生活環境以及分布：學務處、教務處生存的膝型渦蛛多分布在牆角、光照度平均在 300~400lux 的陰暗處。膝型渦蛛在日光燈下也有群聚現象，此外也有觀察到具有垂直分層的聚落。網面的朝向則和周圍環境的形狀有關，位於牆角的網通常為傾斜的，而電風扇扇葉間的網則為水平的。垂直的網則沒有記錄到。

第二次則記錄了野外族群的生活環境，以及室內外隱帶的形狀。野外的膝型渦蛛多棲息於榕樹靠近地面處，在樹洞或交錯的鬚根間較陰暗、且不易受風處結網，其光照度也大約在 300lux，而作為背景的榕樹樹皮表面常有鳥屎或樹汁乾燥後的白色斑點，也有綠色、大小不一的青苔，對於討論隱帶的可能功能上扮演重要的角色。

(二) 捕食習性

在野外樣區放置黏蠅板 24 小時候，我們發現黏蠅板上的昆蟲種類大多數為鞘翅目、鱗翅目及雙翅目的昆蟲。這表示野外樣區中有這些昆蟲出沒，為膝型渦蛛的可能獵物。而監控影像中，室內的獵物多為小型的蠅蟲或蚊子。

藉由食渣分析，我們亦發現小型甲蟲的殘骸，如下圖(6)


圖(6)

生態調查時，我們看到掛在網上的大蚊及飛蛾沒有被吃掉。因此我們推測由於膝型渦蛛的體型不大，較大型的昆蟲如：大蚊及 1.5 公分以上蛾類，不是它的潛在獵物。

此外，黏蚊板也黏到了一些蜂類。根據我們所查詢到的文獻，蜂類及跳蛛為蜘蛛的天敵，因此我們認為下圖(7)的蜂類可能為膝型渦蛛的天敵。但目前缺乏直接目擊證據。

圖(7)

關於捕食行為，根據我們的觀察，膝型渦蛛在活體獵物受困於網上時，才會反應。它的捕食行為可分為三步驟：

第一步驟---拉網行為：當獵物落網時，膝型渦蛛會先利用第一對步足拉扯網子數次。我們推測這個動作具有穩定網身，並判斷獵物方位的功能。

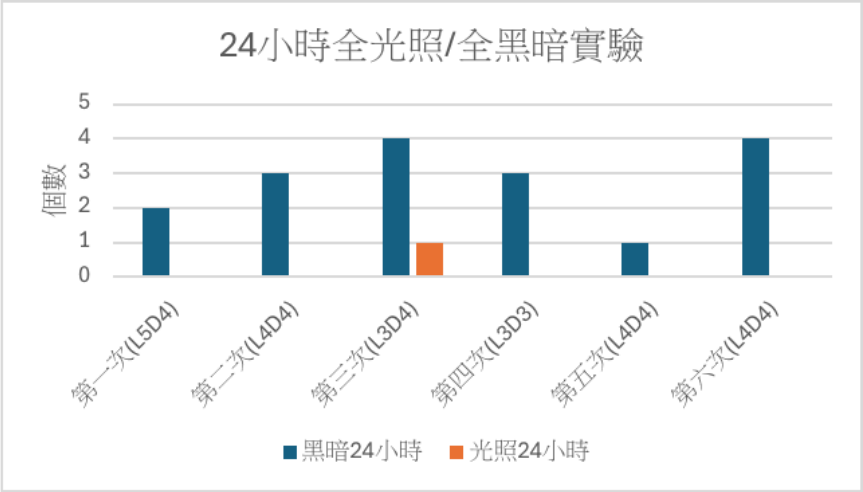
第二步驟---捕捉纏裹：蜘蛛會迅速衝向獵物所在，並拆下困住獵物四周具有黏性的橫絲，再利用其第一對步足（最長）抓住網子，第二、三對步足抓住獵物，並使用最後一對步足將噴出的絲線，把獵物包裹住。在第二步驟噴出絲線的過程，蜘蛛會持續擺動腹部，一邊持續吐絲。

第三步驟---進食：蜘蛛會將被絲線包裹的獵物放到口器旁，再回到隱帶處進食。但有時膝型渦蛛會將包裹好的獵物放在網上，需要進食的時候才會食用。

(三) 織網習性

1. 24 小時全黑暗及 24 小時全光照實驗

將六次實驗的結果整理成長條圖(8)，六次實驗中，僅有一張網是在光照 24 小時環境下織出來的，而其他的網皆為黑暗 24 小時下織出來的網。可看出膝型渦蛛偏好在黑暗環境織網。

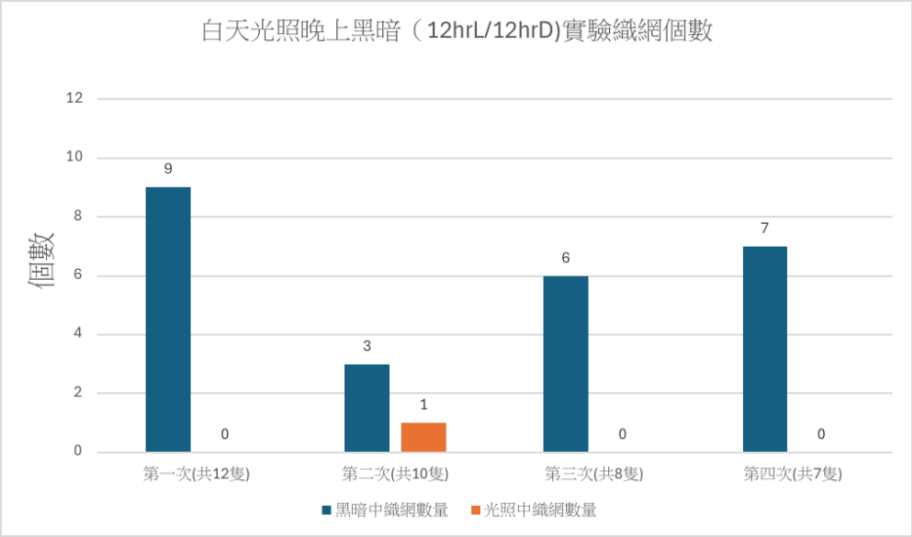


圖(8)

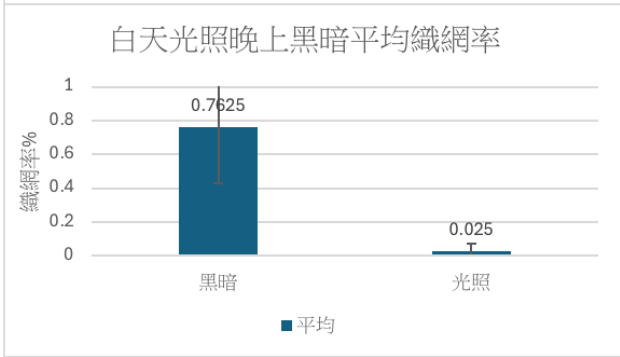
L 為光照 24h 個數

D 為黑暗 24h 個數

2. 12 小時的黑暗和 12 小時全光照

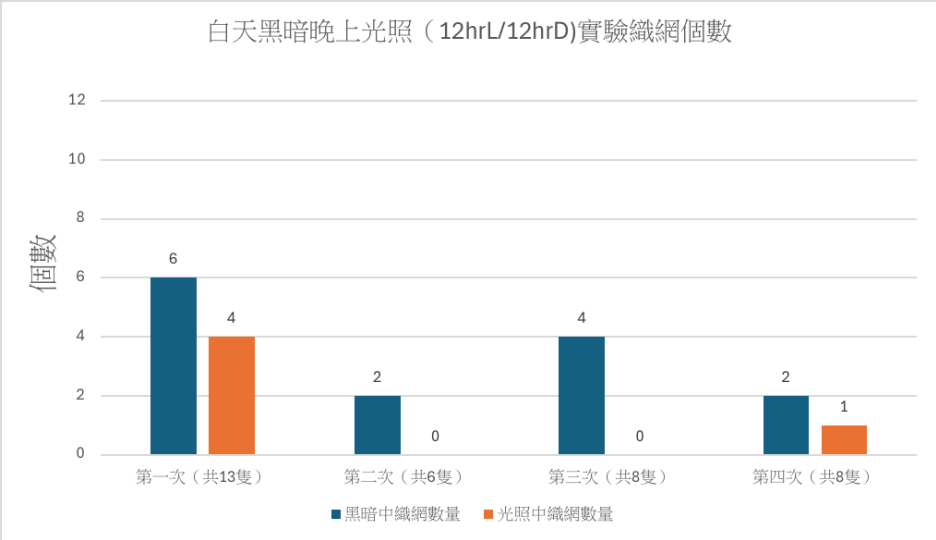


圖(9)

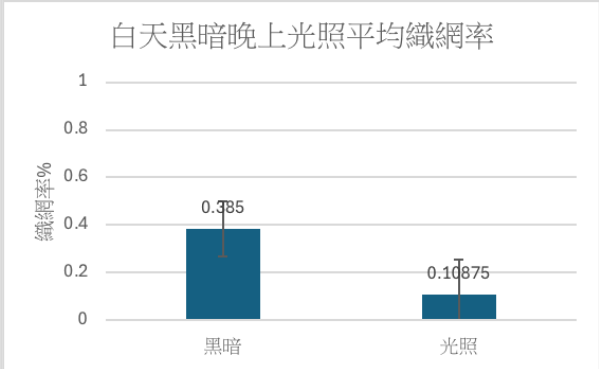


圖(10)

圖(9)為白天光照晚上黑暗的四次實驗（正常生理時鐘），除了在第二次實驗有蜘蛛是在光照中織網，其餘皆為在黑暗中織網。



圖(11)



圖(12)

圖(11)為白天黑暗晚上光照的四次實驗（違反生理時鐘），結果可以看出在黑暗中織網的數量皆大於光照中的個數。但在此違反生理時鐘的實驗，光照下的織網率較正常生理時鐘的多，黑暗中的織網率也較正常生理時鐘少。(圖(12))

這兩次的實驗在黑暗中織網個數皆大於光照中織網個數。因此我們可以看出不論是在晚上或是白天，膝型渦蛛皆傾向於黑暗環境下織網。

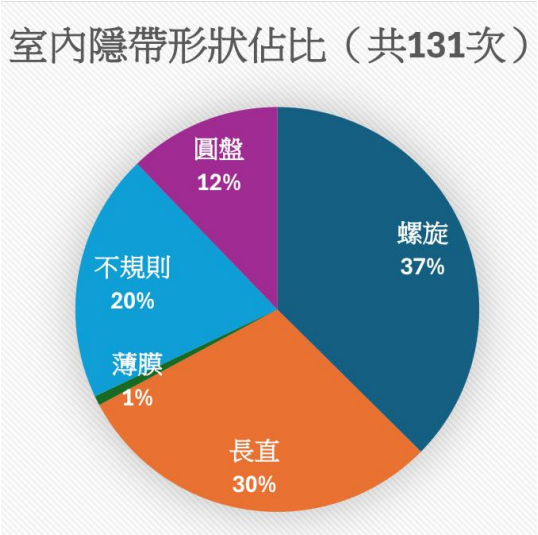
(四) 活動時間：

在監控影像中，我們發現其在夜晚以及白天都有捕獲到獵物，且會在午夜時收網，而在清晨時重新織網，從收網到重新織網間隔約只有兩小時。因此膝型渦蛛的網面是幾乎一整天都存在的，由此我們判斷膝型渦蛛屬於全日性的蜘蛛。

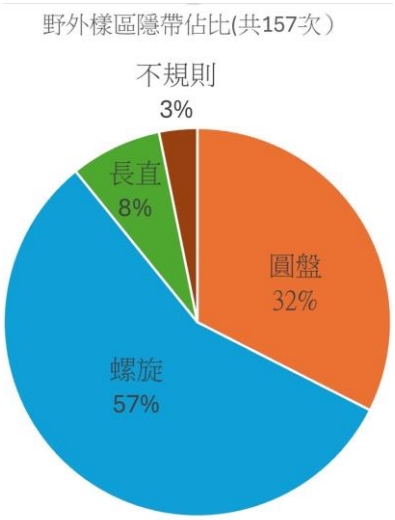
二、 膝型渦蛛隱帶歸納分析

(一) 野外及室內樣區的隱帶形狀占比統計

如圖 13 及圖 14 所示，室內樣區中的螺旋隱帶最多，長直次之。而野外樣區中則是螺旋占最多，圓盤次之，長直型反而最少。值得注意的是，不規則形狀的隱帶在室內樣區中出現的比例較高。



圖(13)



圖(14)

(二) 歸納隱帶種類及定性描述

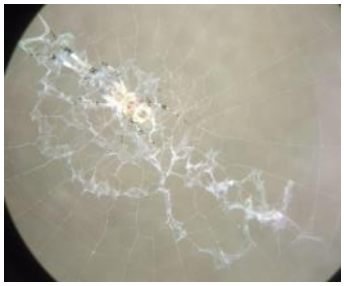
1. 隱帶形狀的分類

我們將隱帶的形狀大致分成以下幾類：

長直隱帶	螺旋隱帶	圓盤狀隱帶	薄膜狀隱帶
隱帶爲過網心直線且有 Z 字結構，隱帶絲線主要為簇型排列	簇型絲線在外圍連成環狀，相較圓盤狀有縫隙，隱帶絲線主要為簇型排列	隱帶圓形且密無縫隙，和薄膜狀不同的是其絲線為簇形排列。肉眼清楚可見	隱帶呈現圓形且密無縫隙，隱帶絲線為平均散佈型排列。肉眼難以清楚看見。

圖(15)

上述說到的簇型及平均散佈型會在隱帶絲線分布方式說明。不符合上述分類的，我們則一律歸類為不規則型，以下舉兩張隱帶作為範例：

具螺旋和直線的特徵	變形直線(未完整過網心)
	

圖(16)

2. 隱帶絲線分布方式

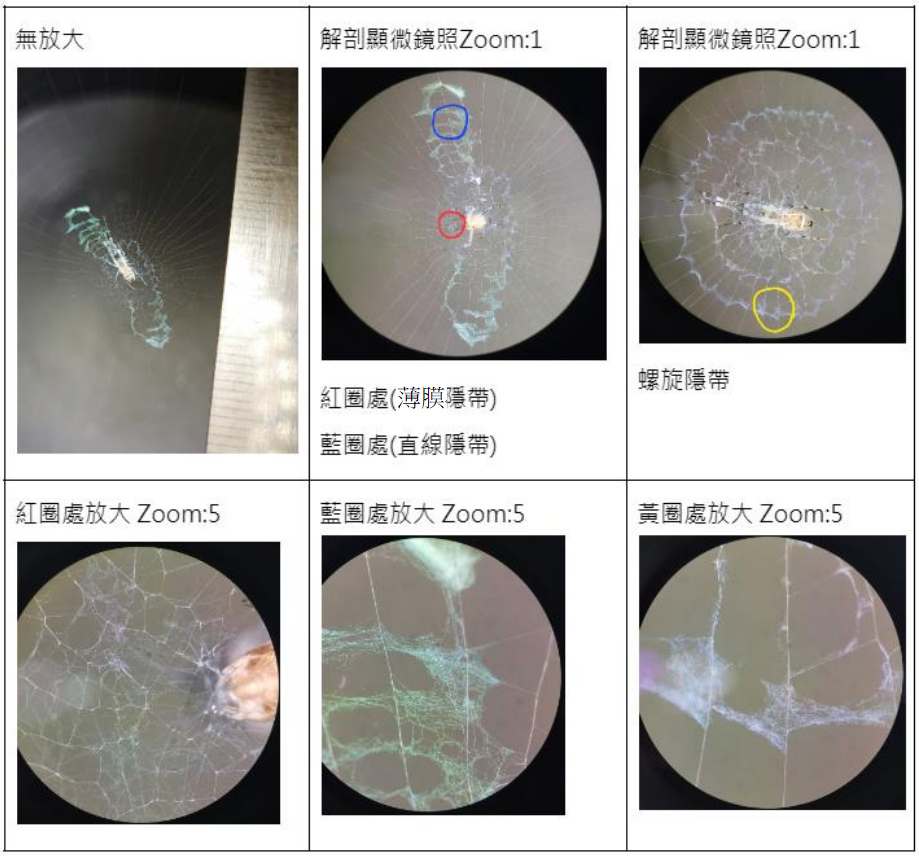
透過解剖顯微鏡觀察隱帶細部結構，我們發現隱帶絲線的分布方式大致可以分為兩種：

(1) 平均散佈型

如下圖紅圈處：在解剖顯微鏡下，可看見隱帶絲線分布得較為**平均**，但相對簇型較為**疏鬆**。在**肉眼下**，相較於簇型分布較為**不明顯**。常見於薄膜狀隱帶。

(2) 簇型

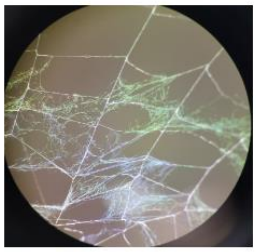
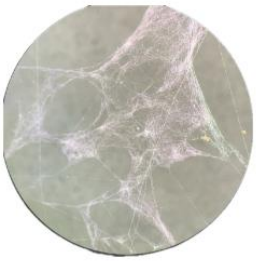
如下圖(17)藍、黃圈處：在解剖顯微鏡下，可看見隱帶絲線分布得較為**不平均**，但相對平均散佈型較**緊密**。在**肉眼下**，與平均散佈型相比是**清楚可見**。可見於直線、圓盤及螺旋隱帶。



圖(17)

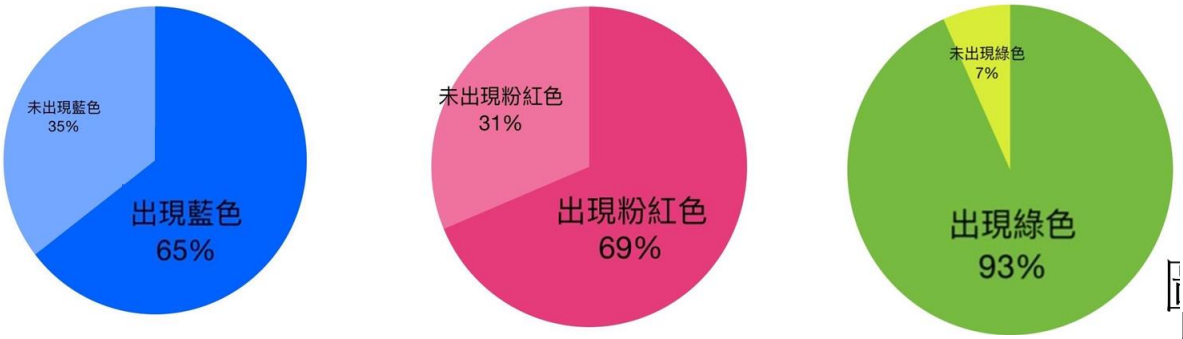
3. 隱帶會出現各種顏色

我們觀察到多數隱帶皆由多種顏色的隱帶絲線構成，最常出現以下三種顏色：藍色、綠色及粉紅色。

藍色及綠色隱帶絲線 Zoom:5	粉紅色隱帶絲線 Zoom:5
	

圖(18)

我們統計了 134 面蜘蛛網中粉紅、綠、藍三種顏色絲線出現的占比。如圖(19)所示，所有的網中，出現機率最高的為綠色，其次為粉紅色及藍色。

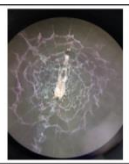
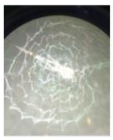
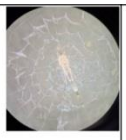
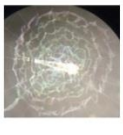
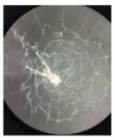


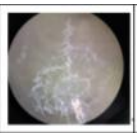
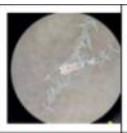
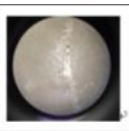
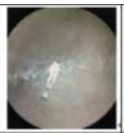
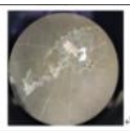
圖(19)

(三) 個體追蹤結果顯示膝型渦蛛於相同環境下仍結出不同形狀的隱帶

個體追蹤的結果，至少有四天隱帶數據的蜘蛛我們才納入考量。排除織網數過少的蜘蛛後，我們總共統計 21 隻膝型渦蛛。我們將連續七天個體追蹤的照片收錄成一表格，下圖為作為範例的其中兩隻，其餘的詳見於附錄一。

我們發現在同樣的實驗室環境下，不同個體仍會織出不同的隱帶。其中，有 10 隻個體從來沒變換過隱帶的形狀(如 FA2)，而剩下 **11 隻**個體則**至少換過一次隱帶形狀**(如 FA12)。

FA 2							
		綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍	

FA 12							
		綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、藍	粉、藍	綠、藍	綠、粉

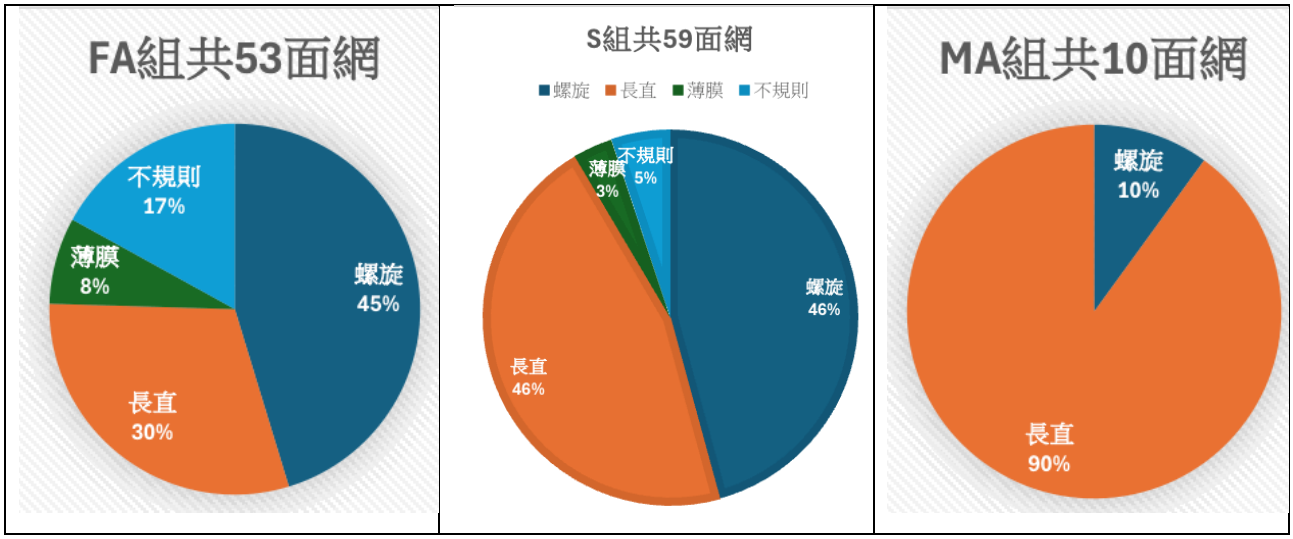
圖(20)

此實驗顯示，即使環境條件相同，膝型渦蛛仍會變換隱帶的形狀。

(四) 除雄蛛外，成長階段與膝型渦蛛織出的隱帶形狀並沒有明顯關聯

利用個體追蹤所得的數據，繪製各成長階段的隱帶形狀占比圖如下：

(以下統計沒有排除織網較少的個體，而是統計計算同一成長階段的所有蛛網)



圖(21)

如上面三張圓餅圖所示，FA 組及 S 組都是螺旋型及長直型為主，且兩者的占比差異不懸殊。

而 MA 組則幾乎都是長直隱帶，情況較特殊，會在討論的地方多做說明。

此實驗顯示，除了雄蛛以外，膝型渦蛛的成長階段與織出的隱帶形狀並沒有明顯關聯。

(五) 織隱帶順序

我們目前有記錄到膝型渦蛛織出螺旋形隱帶以及直線隱帶的過程。牠會在織完網後才將隱帶以帶狀噴灑的形式補至網上。以下分別描述織螺旋形及直線隱帶的過程

1. 織螺旋形隱帶的過程

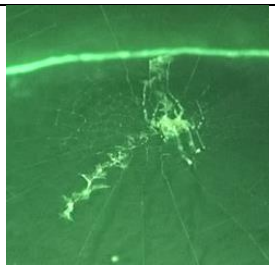
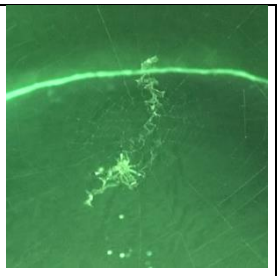
第一步：蜘蛛會先在網子中心處拉扯數下，推測可能為測試蛛網張力。第二步：以簇型絲線繞網織出隱帶的外圍結構，確定出隱帶的範圍。第三步：向內繞圈，最後形成螺旋型。

螺旋隱帶			
	織出隱帶外圍結構		向內繞圈

圖(22)

2. 織直線隱帶的過程

第一步：蜘蛛先在網心處拉扯數下，且拉扯完之後便轉向。朝各個不同方向拉扯數次後，最後朝向未來織出直線隱帶的方向。第二步：從直線其中一端由外往內織，織到網心停止。第三步：從直線另一端由外往內織，織到網心停止。第四步：回到網心拉扯幾次網後，最後蜘蛛本體會與直線隱帶平行。

5/22 織直線 隱帶				
	上下震盪網子	從直線的一端往內織	從直線的另一端往內織	完成體

圖(23)

目前尚未記錄到圓盤狀及薄膜狀隱帶的織網過程。此外，我們目前仍無法說明，為何會出現尚未織網便先織出直線隱帶的狀況，需要更多的觀察紀錄才可能得知。

三、 隱帶功能探討

(一) 反射光譜分析

隱帶反射光譜分析是委託專業機構協助檢測，目前還未能進行分析。

(二) 隱帶吸引獵物之功能驗證

最初我們挑選野外隱帶，並灑上(或不灑)碳粉，並攝影紀錄蛛網與獵物的互動狀況。我們觀察到晚間 5:00 至 6:00 間會出現大量飛蟲。也觀察到數筆飛蟲直接撞上隱帶，或飛蟲徘徊的現象。但是撒碳粉的實驗組及對照組對於飛蟲的誘引效果尚未觀察到明顯差異，推測是我們對於飛蟲是否被吸引的判斷標準並不明確造成的。

圖(24)
飛蟲靠近隱帶的影像紀錄

後來，重新設計了蟲箱以及野外空網的實驗，目前還正在進行中，尚未得到明確結果。

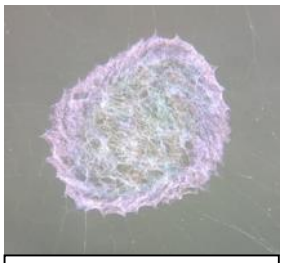
伍、 討論

一、 織網習性

24 小時光照黑暗實驗中，僅有一張往是在光照環境下織出來，而其他 17 張網皆是在黑暗環境中織出。12 小時光照黑暗實驗則分成正常生理時鐘及違反生理時鐘兩種。這兩種實驗的結果，不論是織網個數及織網率，皆是黑暗環境下有較高的數值。但黑暗及光照環境的平均織網率在這兩種實驗有差異。在正常生理時鐘情況下，黑暗組平均織網率和光照組平均織網率的差異，比違反生理時鐘的實驗大上許多。因此我們推論不只有光照環境，生理時鐘也會影響膝型渦蛛織網情形。

二、 室內樣區及野外樣區隱帶形狀比較

根據統計結果，室內樣區與野外樣區的隱帶形狀占比並不相同，且不規則形狀的隱帶在室內樣區中出現的比例較高。同樣的，於實驗室進行的個體追蹤得到的結果也是螺旋型及長直型占最多，與最初在野外看見的若蛛多為圓盤狀隱帶(如右圖(25))的狀況不相符。



圖(25) 圓盤狀隱帶的解剖顯微照

我們目前無法回答造成此差異的原因，但提出以下兩點猜測：
(1)野外天敵較多，膝型渦蛛織出較完整的隱帶以偽裝自己。而室內環境天敵較少；(2)野外環境中競爭者較多，因此必須織出較濃密的隱帶增加對獵物的視覺吸引力。而室內環境天敵或競爭者較少。

以上兩種室內及室外的環境差異可能導致室內的膝型渦蛛投入較少資源在織隱帶上。

三、 個體追蹤實驗結果

金蛛藉由高頻率變換隱帶的形狀，避免被天敵、掠食者學習記憶住，能提高隱帶吸引獵物的效率。在隱帶形狀不變時，對天敵的吸引率便增加，然而當隱帶形狀改變時，對天敵的吸引率便會變低(葉千瑋 2011)。

個體追蹤的結果顯示：在相同環境下，不同膝型渦蛛仍會織出不同形狀的隱帶，而其中有一半的個體會變換其隱帶形狀。參考葉千瑋的研究，我們認為這個理論能夠幫助我們解釋個體追蹤的結果：膝型渦蛛也許採取了相同的策略。

四、 雄性成蛛

在成長階段與隱帶形狀關聯之分析中，我們發現雄蛛幾乎都織直線隱帶。
一般對於雄蛛的認知是他們並不會結網，唯一的工作就是繁衍後代，而的確，我們也觀察到雄蛛所織的網結構都較不完整且殘破，缺乏橫絲，而根據我們的觀察，隱帶絲線需要附著在

其他絲線上。因此我們推測雄蛛織出較多直線隱帶，可能是因為蛛網缺乏橫絲的關係，而與成長階段較無關係。

五、 隱帶的顏色

我們觀察到隱帶絲線會具有顏色，但是顏色的出現似乎沒有明顯的規律。從個體追蹤看到的結果顯示，隱帶的顏色有時前一天是紅色，隔天又變綠色了；有時多種顏色交雜在一起，有時又是較為飽和的單一顏色。目前我們並不瞭解隱帶顏色的功能，有待進一步的實驗驗證。

陸、 結論

一、 膝型渦蛛習性

(一) 膝型渦蛛偏好在黑暗的環境下結網。

(二) 根據我們現有紀錄，認定膝型渦蛛屬於全日型蜘蛛。

(三) 膝型渦蛛捕食的獵物為鞘翅目、鱗翅目及雙翅目中的小型昆蟲

二、 膝型渦蛛隱帶性質

(一) 經統計，室內樣區中的螺旋隱帶最多，長直次之。野外樣區中則是螺旋占最多，圓盤次之，長直型最少。不規則形狀的隱帶在室內樣區中出現的比例較高。

(二) 隱帶形狀可分為

1. 螺旋型：簇型絲線在外圍連成環狀，相較圓盤狀有縫隙，隱帶絲線主要為簇型排列

2. 直線型：隱帶爲過網心直線且有 Z 字結構，隱帶絲線主要為簇型排列

3. 圓盤狀：呈圓形且密無縫隙，和薄膜狀不同的是其絲線為簇形排列。肉眼清楚可見

4. 薄膜狀：隱帶呈現圓形且密無縫隙，絲線為平均散佈型排列。肉眼難以清楚看見。

(三) 隱帶絲線分佈方式分成兩種：平均散佈型及簇型。

(四) 隱帶絲線具有顏色，最常出現藍、綠、粉紅。

三、 影響隱帶形狀、顏色的因素

(一) 膝型渦蛛織隱帶的能力不受遺傳限制

(二) 環境條件相同時，膝型渦蛛仍會不斷變動其隱帶形狀

(三) 除了雄蛛以外，成長階段並不影響隱帶形狀及顏色

柒、 參考資料及其他

一、陳世煌(2001)。台灣常見蜘蛛圖鑑

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。

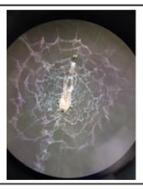
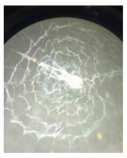
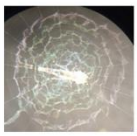
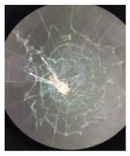
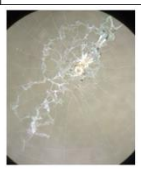
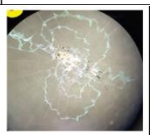
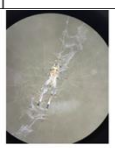
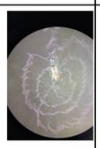
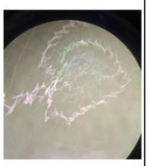
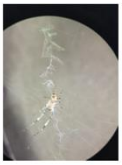
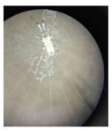
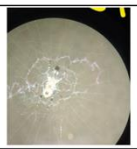
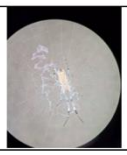
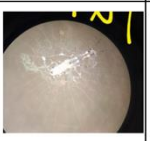
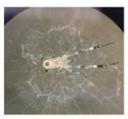
三、Corver, A., Wilkerson, N., Miller, J., & Gordus, A. G. (2021). Distinct movement patterns generate stages of spider web-building. bioRxiv.

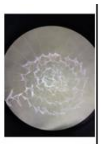
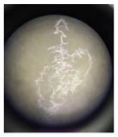
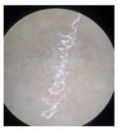
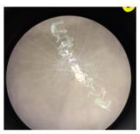
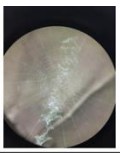
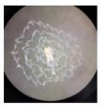
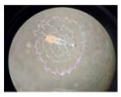
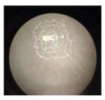
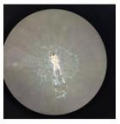
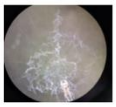
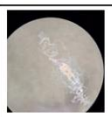
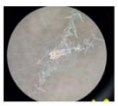
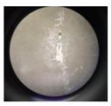
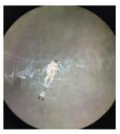
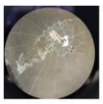
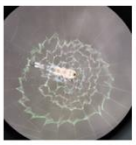
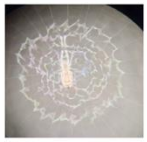
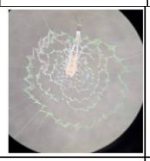
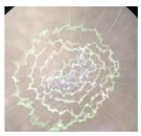
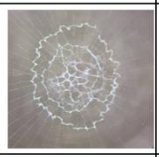
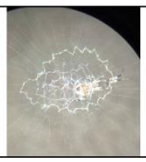
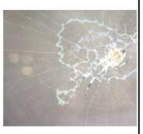
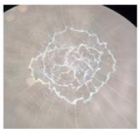
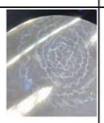
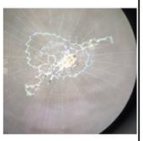
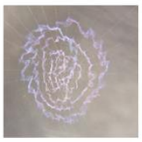
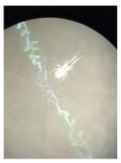
四、Wee Khee Seah, Daiqin Li(2001) Stabilimenta attract unwelcome predatorsto orb-webs.Biological Sciences,National University of Singapore,Singapore 119260

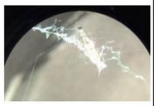
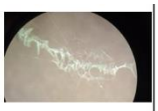
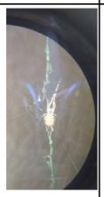
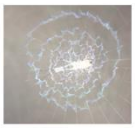
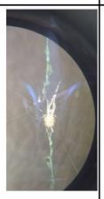
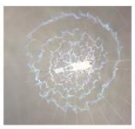
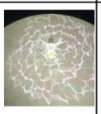
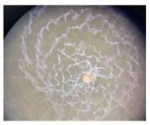
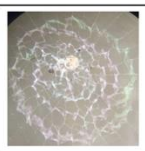
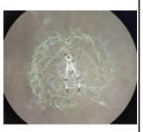
五、Vetter RS, Bruyea GP, Visscher PK, 1996, JSTOR

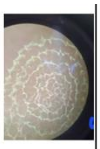
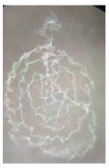
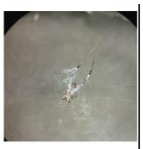
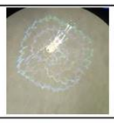
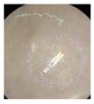
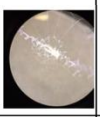
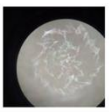
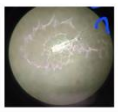
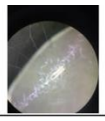
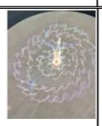
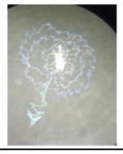
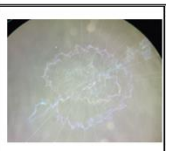
附錄

附錄一、個體追蹤的實驗結果(只保留了至少有四天隱帶數據地個體)

蜘蛛編號	3/16	3/17	3/18	3/19	3/20	3/21	3/22
FA 1							
		綠、粉	綠、藍	綠、藍			
FA 2							
		綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍	
FA 5							“
		綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍	粉、藍		
FA 6							
	綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍		綠、粉、藍		
FA 7							
	綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉		綠、粉

FA 8							
	綠、粉、藍	綠、粉、藍		綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍	
FA 10							
		綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍	
FA 12							
		綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、藍	粉、藍	綠、藍	綠、粉
FA 13							
	綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍	
FA 15							
	綠、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、藍	
S1							
	綠、藍		綠、粉、藍	綠、粉、藍	粉、藍		
S3							
	綠、藍	綠、藍	綠、藍	綠、藍			綠、藍

S4							
	綠、粉、藍		綠	綠、粉、藍	綠、粉		
S5							
	綠、藍	綠、藍	綠、藍	綠、藍	綠、藍		綠、藍
S6							
	綠、藍		綠、粉	綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍	
	綠、粉、藍		綠	綠、粉、藍	綠、粉		
S5							
	綠、藍	綠、藍	綠、藍	綠、藍	綠、藍		綠、藍
S6							
	綠、藍		綠、粉	綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍	
S9							
	綠、粉	綠、粉	綠、粉、藍			綠、藍	

S 10							
	綠、粉	綠、粉、藍	綠、粉	綠、粉	綠、粉	綠、藍	
S 11							
	綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍	粉、藍	
S 12							
	綠、粉	綠、藍	綠、粉	綠、粉	綠、粉、藍	綠、粉、藍	
S 13							
	綠、粉	綠、粉、藍	綠、粉	綠、粉、藍			
S 14							
	綠、粉、藍	綠、粉、藍	綠、粉、藍				綠、粉、藍

10 固定 11 不固定

【評語】052005

本研究在探討膝型渦蛛 Zosis geniculata 的習性及其隱帶性質與功能。膝型渦蛛廣泛分布於臺灣各地的低海拔山區和平地，多棲息於人造建築物的牆角，接近人類生態區位。

1. 本研究著重於觀察，實際上實驗部分較少，或許是有關膝型渦蛛的各類文獻較少，在背景和文獻討論部分較薄弱。

2. 此外，實驗設計和說明較凌亂，如 P15 和 P16 突然出現 FA、S、MA 組，也沒看到有關這些分組的說明。

3. 儘管研究顯示膝型渦蛛即使在相同的環境下會製造不同形狀的隱帶，但這是否反映個體之間的差異或受到微小環境變化的影響，仍需進行進一步的定量分析和實驗來確認。

4. 雖然研究描述了膝型渦蛛在織網、拆網的行為，但對於這些行為的生態意義和背後的生理機制缺乏深入的探討。

作品簡報

膝型渦蛛隱帶性質與功能探討

摘要

本篇科展為探討膝型渦蛛 *Zosis geniculata* 的習性及其隱帶性質與功能。我們發現膝型渦蛛偏好在黑暗環境織網，並在習性調查中，發現它會在夜間拆網、織網，清晨重新織隱帶，因此我們認為其屬全日型蜘蛛。主要獵物為鞘翅目、鱗翅目及雙翅目中的小型昆蟲。

我們將隱帶的形狀分為螺旋型、直線型、圓盤狀、薄膜狀四種，不符上述分類的則歸為不規則型。此外，發現隱帶絲線分佈方式可分成兩種：平均散佈型及簇型。我們還發現隱帶絲線具有顏色，最常出現藍、綠、粉紅等色澤。透過實驗，我們證明了即使在同樣的環境條件下，膝型渦蛛仍會織出不同形狀的隱帶；而成長階段不會影響其隱帶的形狀及顏色；織隱帶的能力也不受遺傳限制。蟲箱實驗的結果顯示隱帶能增加對昆蟲的吸引力
。

前言

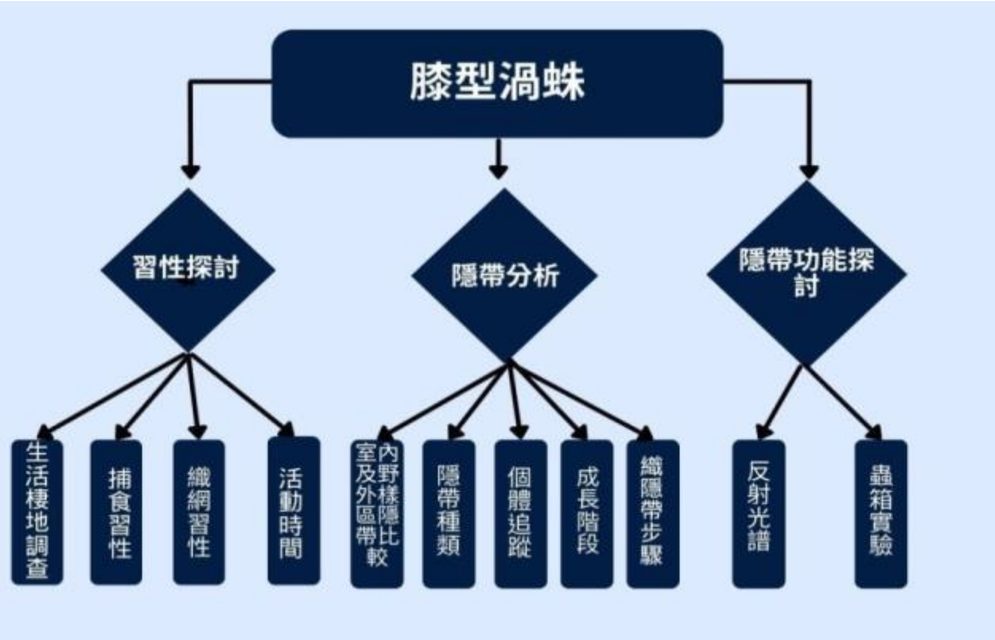
隱帶，常位於蜘蛛網中心，是由葡萄狀腺絲所構成較為密集的網結構，目前已知會結隱帶的蜘蛛多為金蛛科及渦蛛科成員。現有研究對隱帶的功能尚無定論，但已有一些主流假說，包括吸引獵物、防禦天敵及視覺警示。(博學多文網路期刊)。

現有文獻雖有膝型渦蛛的外型、解剖結構相關之完整描述，但關於習性、獵捕對象等紀錄則較少。此外，許多假說是以金蛛科的蜘蛛為研究對象得出的，並不知道是否適用於渦蛛科的成員。本研究首先對膝型渦蛛的織網習性、獵捕對象等做了完整的紀錄，接著針對膝型渦蛛各式各樣的隱帶進行歸納分類、性質紀錄，最後試著了解隱帶的生態功能，是否與吸引獵物有關。

研究目的

一、了解膝型渦蛛的習性，包括其生長環境、獵捕習性、活動時間等
二、了解膝型渦蛛的隱帶性質、嘗試將其依形狀分類，並探討可能影響隱帶形狀的因素
三、了解膝型渦蛛隱帶的生態功能

研究過程及方法



一、膝型渦蛛基本習性探討
(一)生活棲地調查
(二)捕食習性
(三)織網習性
1.24小時全光照及24小時全黑暗實驗
2.12小時黑暗及12小時光照

我們想了解膝型渦蛛是需要在黑暗環境織網（外在環境）還是需要在夜晚織網（內在生理時鐘）因此我們將膝型渦蛛放在兩種環境下，分別是白天時光照/夜晚時黑暗12hrL/12hrD（正常生理時鐘）及白天時黑暗/夜晚時光照12hrD/12hrL（違反正常生理時鐘）並每12小時紀錄一次。
(四)活動時間

二、膝型渦蛛隱帶歸納分析
(一)野外及室內樣區的隱帶形狀占比統計
(二)歸納隱帶種類及定性描述
(三)個體追蹤實驗
(四)成長階段與隱帶形狀關聯之分析
(五)膝型渦蛛結隱帶步驟

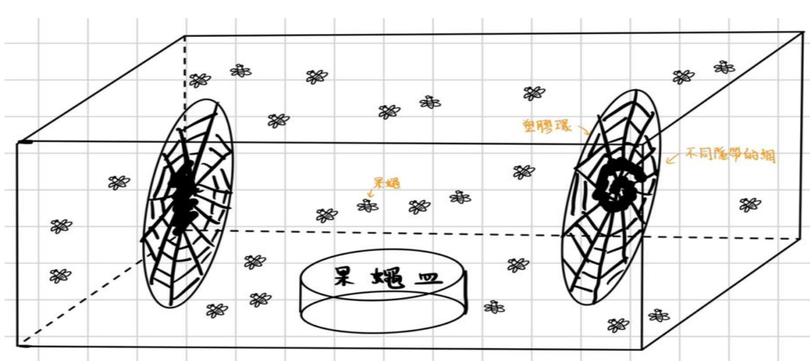
三、隱帶功能探討
(一)反射光譜分析
(二)隱帶功能探討

蟲箱實驗

我們選用了長方形透明魚缸作為容器，並選用果蠅作為獵物，而在魚缸的兩側分別放置不同隱帶的網，經過一段時間後，比較兩張網的捕獲數量。實驗裝置如下左圖所示。

野外空網實驗

我們運用和蟲箱實驗中取網的方法:用透明的塑膠環套黏住網子的縱絲，並放置在野外環境，靜置一段時間後，比較捕獲獵物量的多寡。如下右圖所示。



我們想要從以下幾個面向探討隱帶功能：
(1)隱帶上反射光線的有無對於吸引獵物的差異
(2)相同形狀但不同顏色隱帶的網吸引隱帶的差異
(3)不同形狀的隱帶吸引獵物的差異

由於我們無法在一張完成的網上移除已經織好的隱帶，因此我們選擇在隱帶上灑上碳粉，並量測撒上碳粉前後的反射光譜差異，再藉由蟲箱實驗以及野外空網實驗比較捕獲量的差異來驗證。

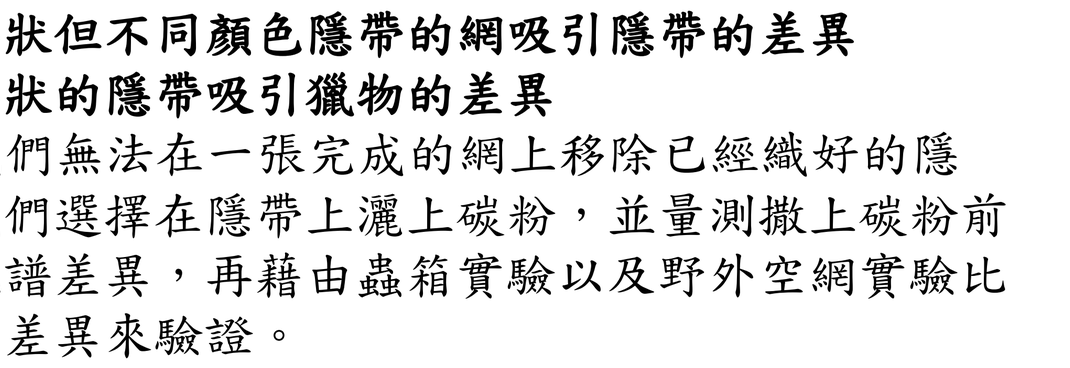
研究結果---基本習性探討

生活棲地調查

學務處、教務處生存的膝型渦蛛多分布在牆角，光照度平均在300~400lux的陰暗處。膝型渦蛛在日光燈下也有群聚現象，而其他聚落具有垂直分層的情形。野外的膝型渦蛛多棲息於榕樹靠近地面處，其光照度也大約在300lux，而作為背景的榕樹樹皮表面常有鳥屎或樹汁乾燥後的白色斑點。

捕食習性

黏蠅板上的昆蟲種類大多數為鞘翅目、鱗翅目及雙翅目的昆蟲，為膝型渦蛛的可能獵物。室內的獵物多為小型的蠅蟲或蚊子。食渣分析我們亦發現小型甲蟲的殘骸，如右邊上圖

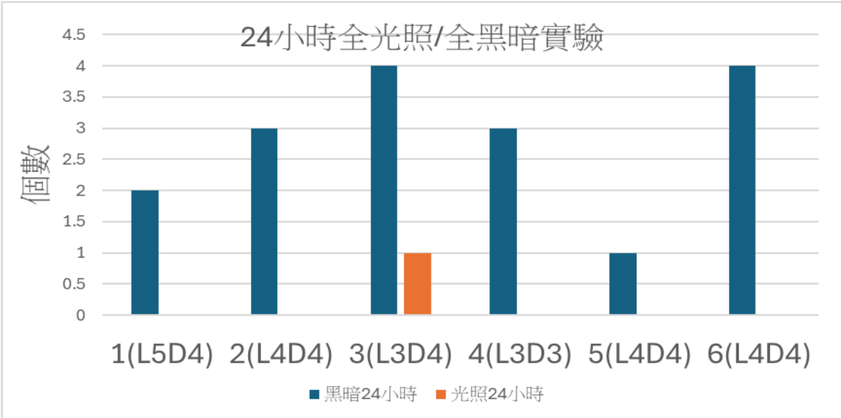


根據我們所查詢到的文獻，蜂類及跳蛛為蜘蛛的天敵，因此我們認為右邊下圖中的蜂類可能為膝型渦蛛的天敵。但目前缺乏直接目擊證據。

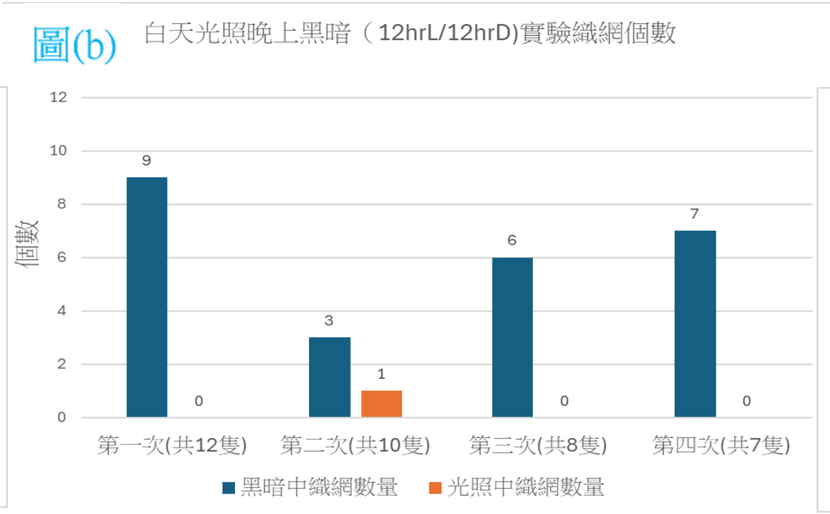
捕食行為可分為三步驟：
第一步驟---拉網行為：
第二步驟---捕捉纏裹：
第三步驟---進食

研究結果---織網習性

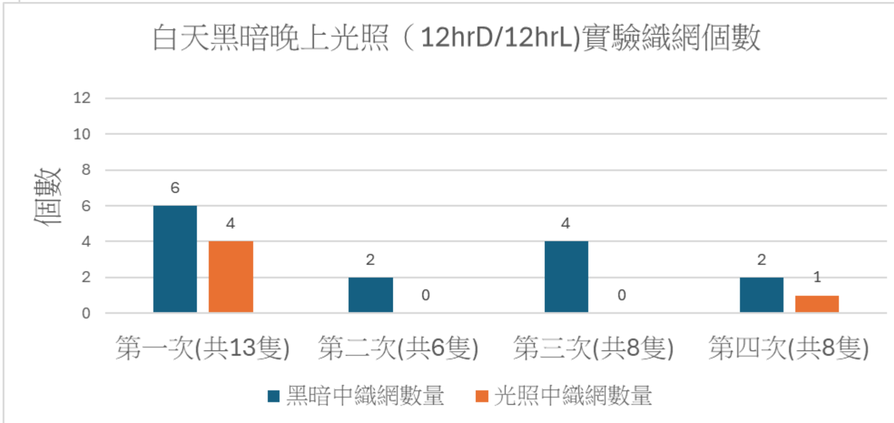
圖(a)



圖(b)



圖(c)

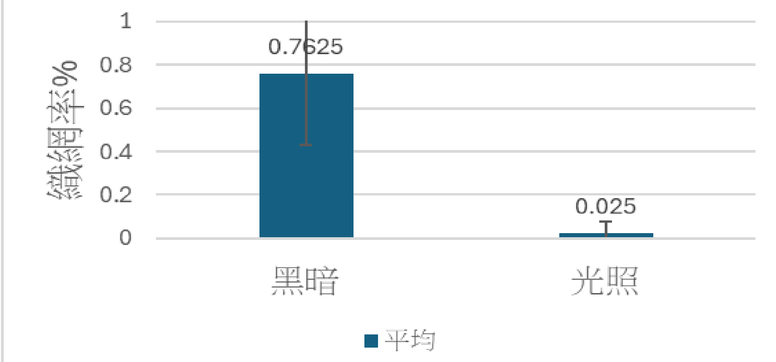


圖(a)六次實驗中，僅有一張網是在光照24小時環境下織出。可看出膝型渦蛛偏好在黑暗環境織網。

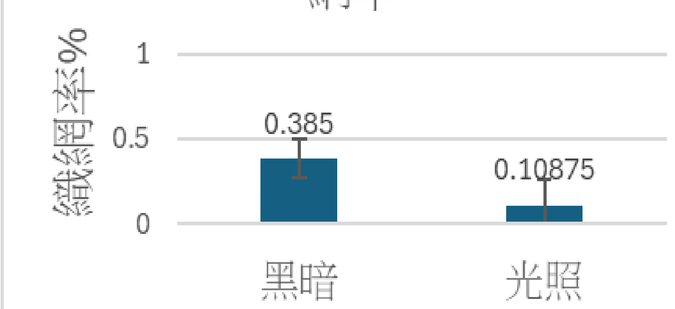
圖(b)圖(c)為12小時光照實驗的結果：兩實驗中都是黑暗中織網個數較多，但在違反生理時鐘的實驗(圖c)則有較多個體在光亮環境下織網。此顯示膝型渦蛛偏好在黑暗環境下織網，不過可能亦受到生理時鐘的影響。

圖(d)圖(e)為兩實驗四次重複的結果之平均

圖(d) 白天光照晚上黑暗平均織網率

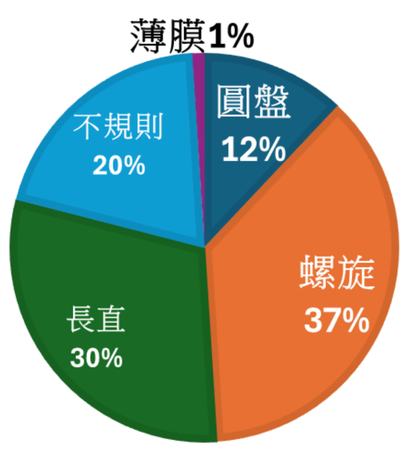


圖(e)白天黑暗晚上光照平均織網率

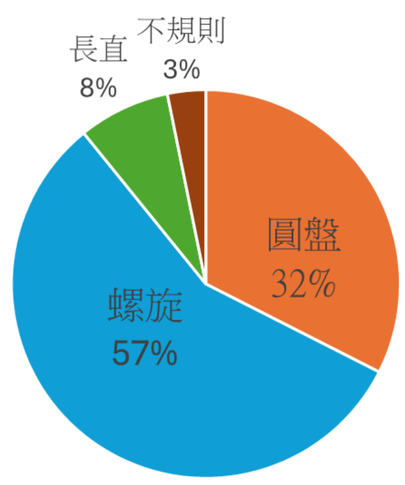


野外及室內樣區的隱帶形狀占比統計

室內樣區隱帶佔比(共131次）



野外樣區隱帶佔比(共157次）

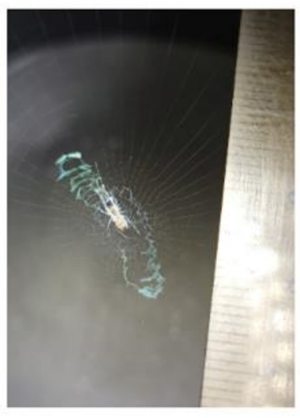
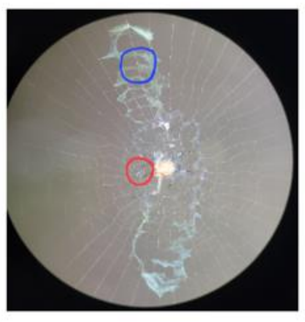
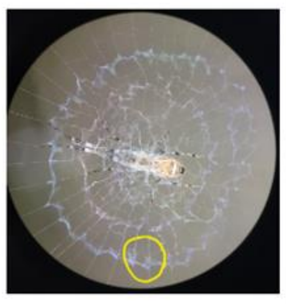
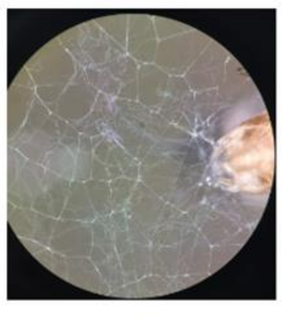
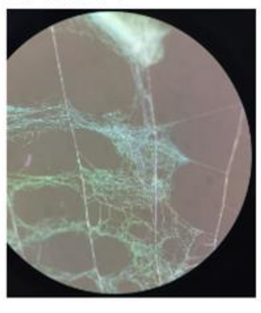
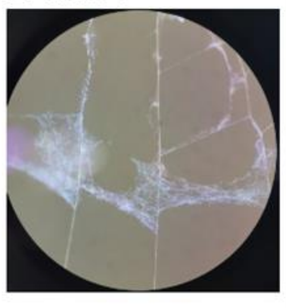


隱帶形狀分類

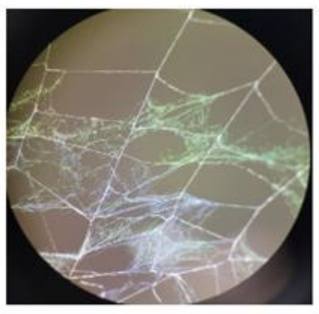
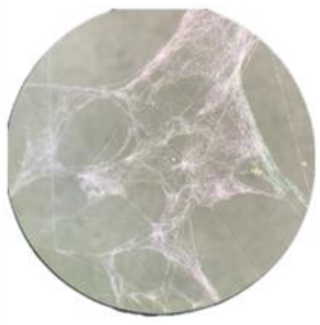
長直隱帶	螺旋隱帶	圓盤狀隱帶	薄膜狀隱帶

長直、螺旋、圓盤狀隱帶皆由簇型絲線分布構成，
薄膜狀隱帶則由平均散佈型絲線構成。
除絲線分布方式外，圓盤狀及薄膜狀可以肉眼的可辨識度分類：
圓盤狀相較於薄膜狀隱帶更加明顯、可見。
無法以上述定義分類的隱帶我們歸類為不規則型。

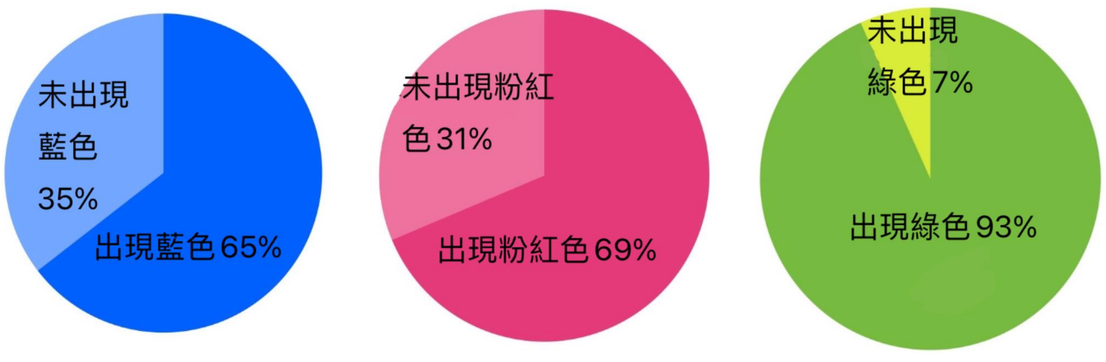
隱帶絲線分布方式

無放大	解剖顯微鏡照Zoom:1	解剖顯微鏡照Zoom:1
	 紅圈處(薄膜隱帶) 藍圈處(直線隱帶)	 螺旋隱帶
紅圈處放大 Zoom:5	藍圈處放大 Zoom:5	黃圈處放大 Zoom:5
		

隱帶出現顏色

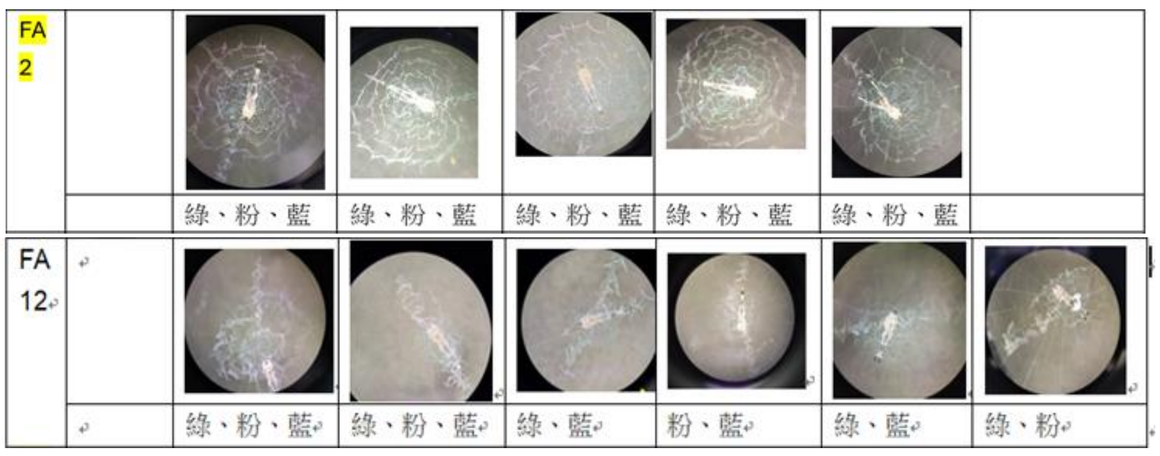
藍色及綠色隱帶絲線 Zoom:5	粉紅色隱帶絲線 Zoom:5
	

三種常見的隱帶顏色出現頻率(共134張網)



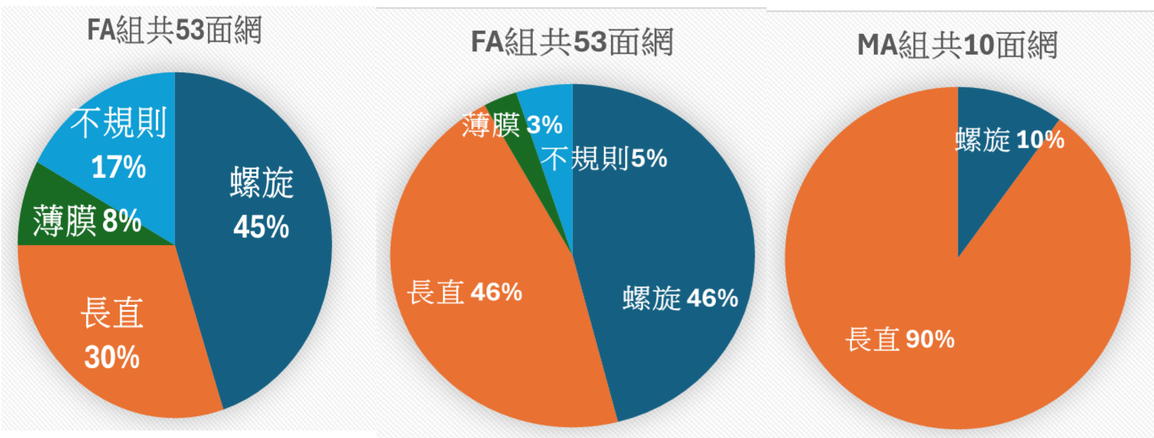
個體追蹤實驗

在同樣的實驗室環境下，不同個體仍會織出不同的隱帶。
其中，有10隻個體從來沒變換過隱帶的形狀(如FA2)
剩下11隻個體則至少換過一次隱帶形狀(如FA12)。



成長階段與隱帶的關聯

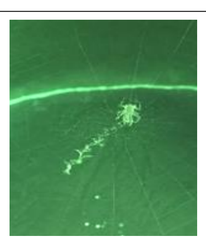
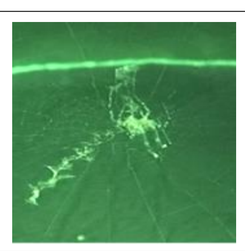
除雄蛛外，成長階段與膝型渦蛛織出的隱帶形狀
並沒有明顯關聯



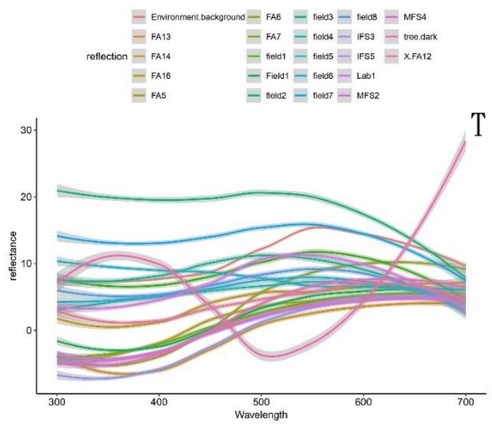
織螺旋形隱帶步驟

織螺旋隱帶的過程	織出外圍		向內繞圈

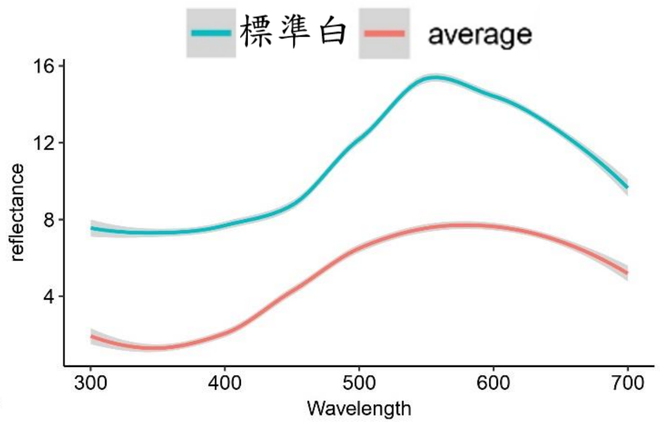
織直線形隱帶的過程

織直線隱帶的過程	上下震盪網子	從直線一端往內織	從直線另一端往內織	完成體
				

結果-反射光譜

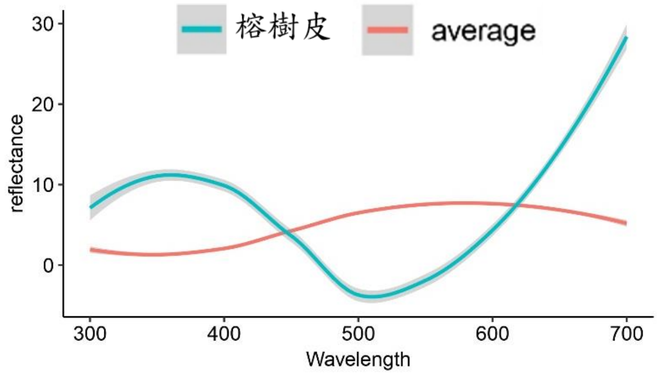


圖(A)



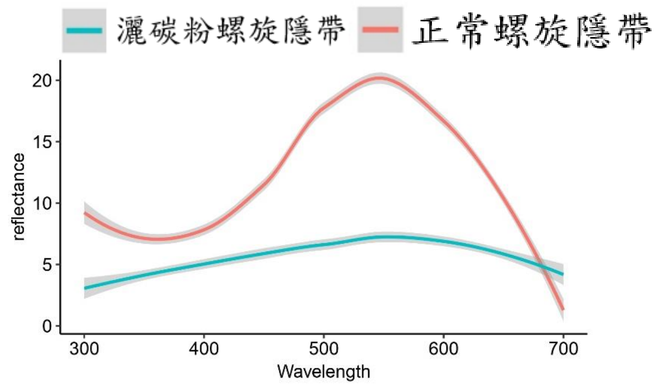
圖(B)

隱帶的反射光譜曲線與標準白接近，但強度較弱



圖(C)

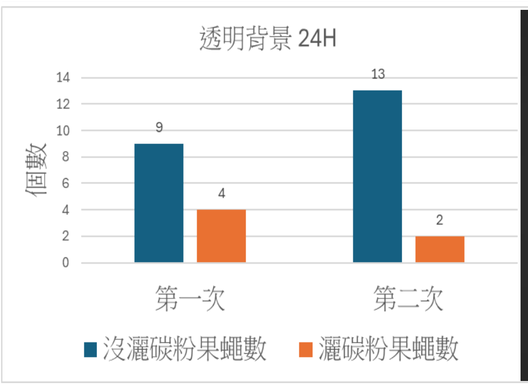
相較於榕樹皮(野外棲地背景)，隱帶的反射光譜曲線在約450~600nm這個波段有較高的反射強度。

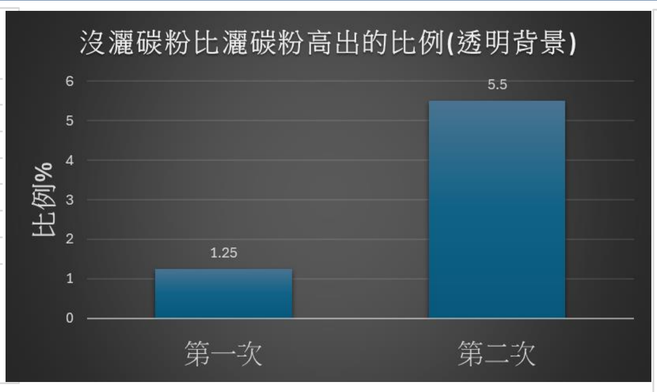


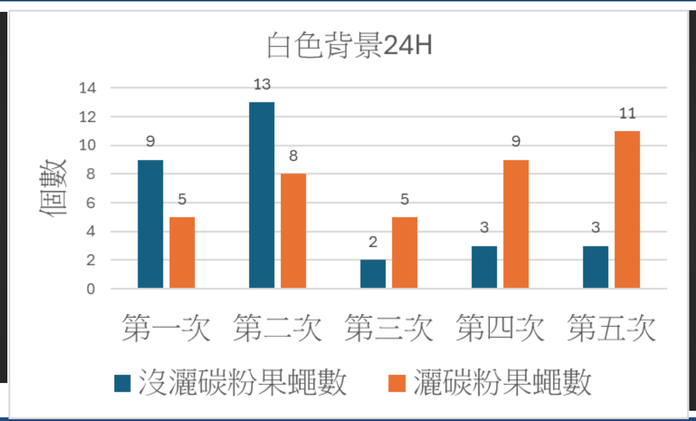
圖(D)

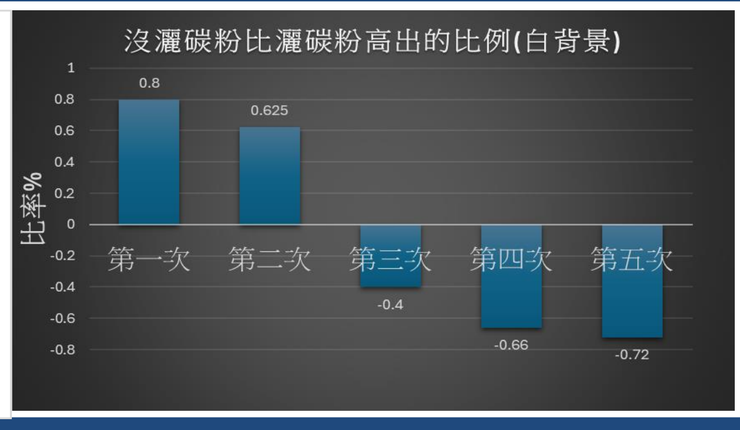
有灑碳粉的隱帶整體反射強度較弱，且原先450~600nm這個有較高反射強度的波段，其曲線也變得較平緩，顯示碳粉的確能遮蔽掉隱帶的反射光。

結果-蟲箱實驗









討論

一、室內樣區及野外樣區隱帶形狀比較

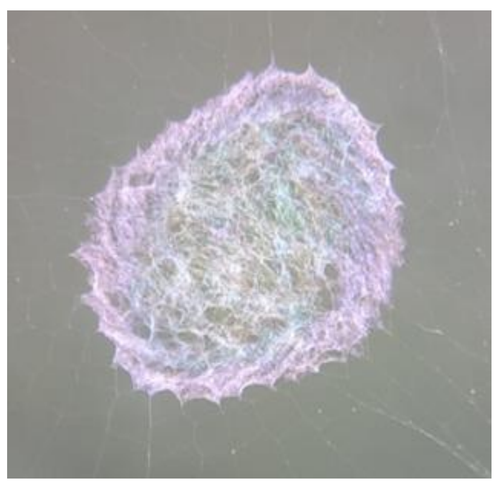
根據統計結果，室內樣區與野外樣區的隱帶形狀占比並不相同，且不規則形狀的隱帶在室內樣區中出現的比例較高。同樣的，於實驗室進行的個體追蹤得到的結果也是螺旋型及長直型占最多，與最初在野外看見的若蛛多為圓盤狀隱帶(如右圖)的狀況不相符。我們目前無法回答造成此差異的原因，但提出以下兩點猜測：

(1)野外天敵較多，膝型渦蛛織出較完整的隱帶以偽裝自己。

(2)野外環境中競爭者較多，因此必須織出較濃密的隱帶增加對獵物的視覺吸引力。

而室內環境天敵或競爭者較少。

以上兩種室內及室外的環境差異使室內的膝型渦蛛投入較少資源在織隱帶上。



野外常見的
圓盤狀隱帶的解剖顯微照

二、個體追蹤

金蛛藉由高頻率變換隱帶的形狀，避免被天敵、掠食者學習記憶，能提高隱帶吸引獵物的效率。在隱帶形狀不變時，對天敵的吸引率便增加，然而當隱帶形狀改變時，對天敵的吸引率便會變低(葉千瑋 2011)。個體追蹤的結果顯示：在相同環境下，不同膝型渦蛛仍會織出不同形狀的隱帶，而其中有一半的個體會變換其隱帶形狀。參考葉千瑋的研究，我們認為這個理論能夠幫助我們解釋個體追蹤的結果：膝型渦蛛也許採取了相同的策略。

三、雄性成蛛

根據我們的觀察，雄性成蛛缺乏較黏的橫絲，而隱帶絲線需要附著在其他絲線上。因此我們推測雄蛛織出較多直線隱帶，可能是因為蛛網缺乏橫絲的關係，而與成長階段較無關係。

四、隱帶的顏色

我們觀察到隱帶絲線會具有顏色，但從個體追蹤看到的結果顯示，隱帶顏色的出現似乎沒有明顯的規律目前我們並不瞭解隱帶顏色的功能，有待進一步的實驗驗證。

五、隱帶功能探討

(1)隱帶反射光譜

圖(C)中，我們比較膝型渦蛛野外棲地背景(榕樹皮)與隱帶的反射光譜，發現在大約450~600nm的波段，隱帶反射光的強度比榕樹皮高。有文獻提到，紅光及藍光對蠅類有吸引力，而夜蛾對365nm、450nm 及 525nm 有趨光性。因此我們推測隱帶可以透過450~600nm波段較強的反射光線吸引獵物。

(2)蟲箱實驗

根據反射光譜結果圖D，有撒碳粉的隱帶反射強度較低。兩次的透明背景實驗結果顯示沒有撒碳粉的隱帶對果蠅有較好的吸引力，表示隱帶確實能吸引較多獵物；但在白色背景下，5次有3次是撒碳粉的隱帶較能吸引果蠅，會有這樣的差異我們推測為因背景接近標準白的顏色，如反射光譜圖B的結果，在標準白背景下，隱帶的反射光較無法呈現；而根據文獻，昆蟲偏好停留在物體邊界，我們推測灑碳粉的隱帶在白色背景下能產生類似物體邊界的視覺效果，因而有較高的吸引率。

結論

一、膝型渦蛛習性
- (一)膝型渦蛛偏好在黑暗的環境下結網。
- (二)根據我們現有紀錄，認定膝型渦蛛屬於全日型蜘蛛。
- (三)膝型渦蛛捕食的獵物為鞘翅目、鱗翅目及雙翅目中的小型昆蟲

二、膝型渦蛛隱帶性質
- (一)隱帶形狀可分為
  1. 螺旋型：呈現螺旋形，相較圓形有縫隙，隱帶絲線僅具簇型排列
  2. 直線型：呈直線狀且有Z字結構，隱帶絲線僅具簇型排列
  3. 圓盤狀：呈圓形且密無縫隙，和薄膜狀不同的是其絲線為簇形排列。肉眼清楚可見
  4. 薄膜狀：隱帶呈現圓形且密無縫隙，絲線為平均散佈型排列。肉眼難以清楚看見。
- (二)隱帶絲線分佈方式分成兩種：平均散佈型及簇型。
- (三)隱帶絲線具有顏色，最常出現藍、綠、粉紅。

三、影響隱帶形狀、顏色的因素
- (一)膝型渦蛛織隱帶的能力不受遺傳限制
- (二)環境條件相同時，膝型渦蛛仍會不斷變動其隱帶形狀
- (三)除了雄蛛以外，成長階段並不影響隱帶形狀及顏色

四、隱帶反射光譜
- (一)隱帶的反射光譜與標準白板的趨勢接近
- (二)在450~600nm的波段相對榕樹皮有較高的反射強度

參考文獻

一、陳世煌(2001)。台灣常見蜘蛛圖鑑
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、Corver, A., Wilkerson, N., Miller, J., & Gordus, A. G. (2021). Distinct movement patterns generate stages of spider web-building. bioRxiv.
四、Wee Khee Seah, Daiqin Li(2001) Stabilimenta attract unwelcome predatorsto orb-webs.Biological Sciences,National University of Singapore,Singapore 119260
五、Vetter RS, Bruyea GP, Visscher PK, 1996, JSTOR