

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 生物科

佳作

080310

校園蒼蠅虎~雙帶扁蠅虎 (Menemerus
bivittatus) 的生態調查和步足仿生設計

學校名稱：臺北市私立復興實驗高級中學(附設國小)

作者： 小五 李冠潔 小四 劉恩宇 小四 余若凡 小五 朱 妤 小四 張介瑋 小四 楊恆瑞	指導老師： 林淑慧 陳佳宜
---	-------------------------

關鍵詞：雙帶扁蠅虎、步足、仿生

摘要

我們在校園裡的樹皮下發現雙帶扁蠅虎，發現牠的捕食、求偶、蜷縮步足姿勢非常特別，以顯微攝影進一步鎖定研究牠的步足，發現步足上有許多剛毛及細毛，並有尖端倒鉤和尖刺，讓雙帶扁蠅虎可以在光滑表面上快速地行走！雙帶扁蠅虎會先用身體一側的第一、第三對腳和另一側的第二、第四對腳；再用一側的第二、第四對腳和另一側的第一、三對腳的步足行走模式。快速行走應該跟四對步足的結構、關節構造都有關，觀察步足的蜷縮結構，測量出牠可以將身體從體長 6-9mm，穿過 2.5mm 的縫隙，發現蠅虎的步足有很好的伸縮能力，特殊的關節膜結構，以及前附足的特殊功能等，期待將步足的蜷縮能力、關節膜特殊構造和移動方式，應用到生活物品的仿生上。

壹、研究動機

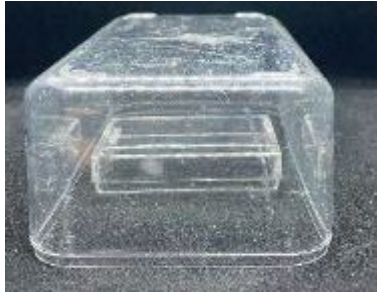
當天氣溫暖時，校園裡的樹皮和盆栽附近有許多蠅虎，當天氣變得比較寒冷時，牠們又會到教室內躲藏。我們發現蠅虎的視力很好，且善於跳躍，亦稱跳蛛。一隻善於跳躍、又可以在玻璃上迅速移動的蠅虎，吸引我們觀察牠，雙帶扁蠅虎可以在光滑表面上快速行走，能快速行走應該跟四對步足的結構、關節構造有關，最特別是步足竟然用尖端走，所以進一步想用顯微拍照與攝影深入研究，顯微鏡顯示結果，步足有許多的輕巧毛叢、毛簇、足底爪鉤、爪齒的特殊構造，引起我們的探究興趣！開啟我們的好奇心，藉由生態調查和步足觀察，是否能根據步足的特殊構造去研發、設計仿生產品，並加以應用。

貳、研究目的



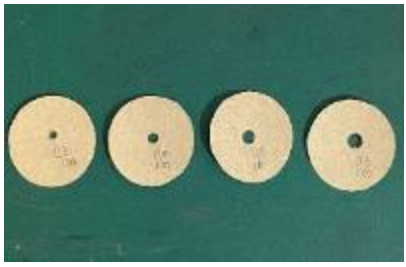
- 一、調查校園的雙帶扁蠅虎生態環境。
- 二、研究蠅虎捕食、求偶兩種不同姿勢步足之比較。
- 三、測試蠅虎蜷縮的縮小程度與在不同光滑面的器皿爬行的分析。
- 四、觀察蠅虎步足姿勢、蜷縮姿勢，延伸到步足、關節結構仿生設計，運用到生活中

參、研究材料及設備器材







一、飼養材料及準備用品

		
優格瓶、玻璃瓶、布丁杯	玻璃瓶觀察捕食	盒中盒（大盒包小盒），目的是觀察求偶，避免互相攻擊
圖 1 準備優格瓶、玻璃瓶、布丁杯，方便飼養、抓取與拍照		

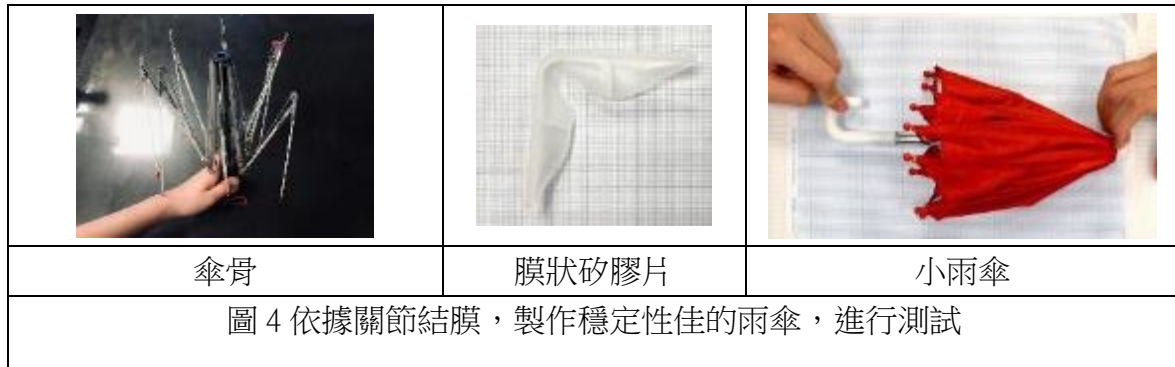
二、測量的準備用品

創作目的：測量雙帶扁蠅虎的蜷縮程度		
		
圈圈尺、布丁盒、已切好洞的蓋子、釘子、已剪好的紙板、剪刀	將有著不同大小洞的紙板，蓋上布丁盒上蓋的大洞，放入大罐子中。	已剪好的紙板(0.6cm、0.55cm、0.5cm、0.45cm、0.4cm、0.35cm、0.3cm、0.25cm，8種大小)
圖 2 製作目的：測試雙帶扁蠅虎蜷縮程度，以盒中盒（中圖）成功測試		

三、雙帶扁蠅虎在不同光滑面的器皿爬行的分析

材質	不銹鋼杯	鈦杯	玻璃杯	燒杯	紙杯	塑膠杯
照片						
取材目的	密度較高，毛細孔分佈較稀疏	密度偏高，毛細孔分佈偏少	密度適中，毛細孔分佈均勻	密度適中，毛細孔分佈均勻	密度低，毛細孔分佈密集	密度低，毛細孔分佈密集
圖 3 製作目的：測試雙帶扁蠅虎在不同光滑面器皿的爬行分析						

四、仿生工具



五、仿研究架構

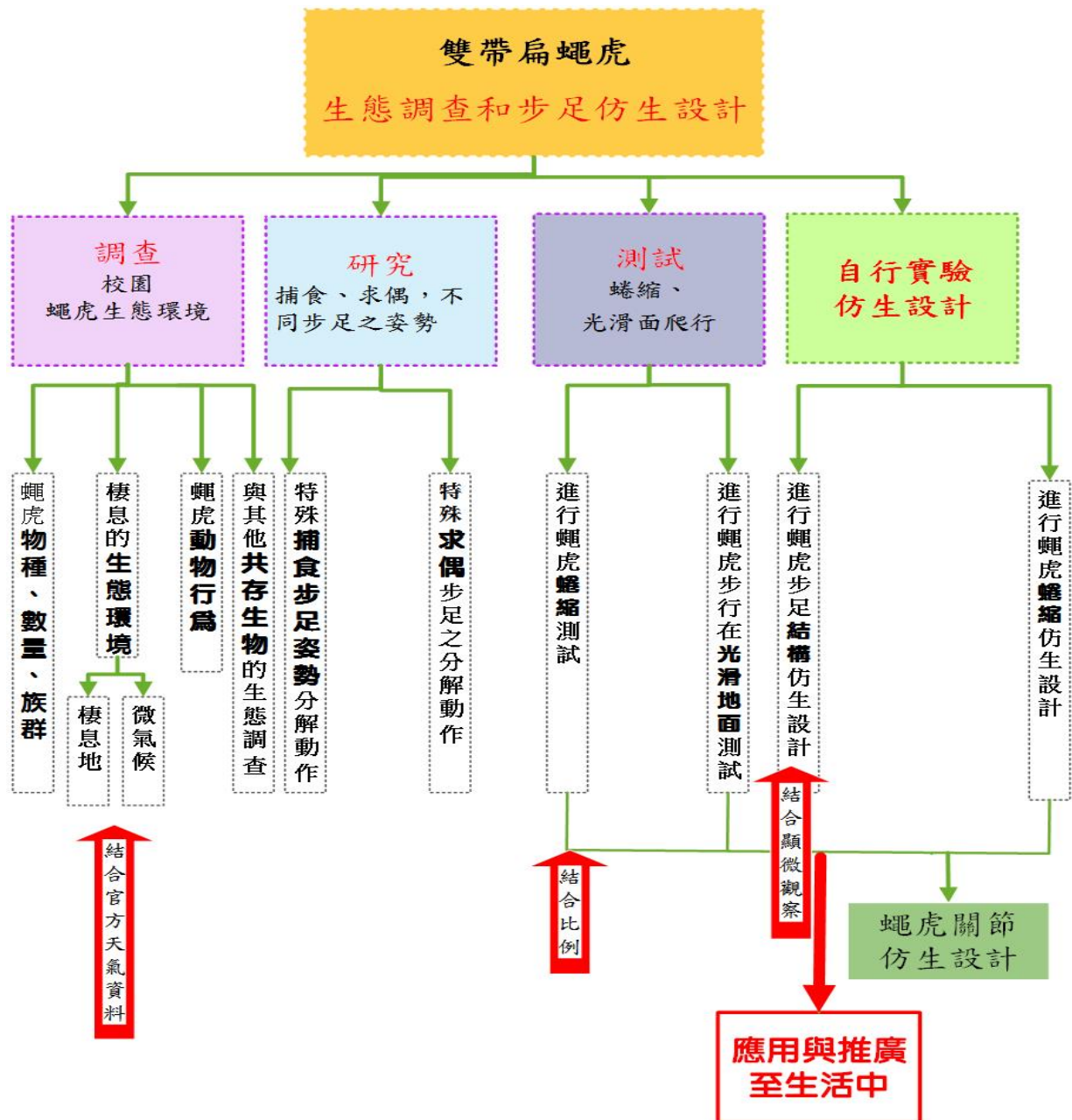


圖 5：雙帶扁蠅虎的生態調查和步足實驗架構圖

肆、研究過程與方法

一、調查校園蠅虎生態環境，確定研究品種。

(一) 調查校園蠅虎種類和數量。

1. 示意手繪圖：

校園雙帶扁蠅虎大搜索

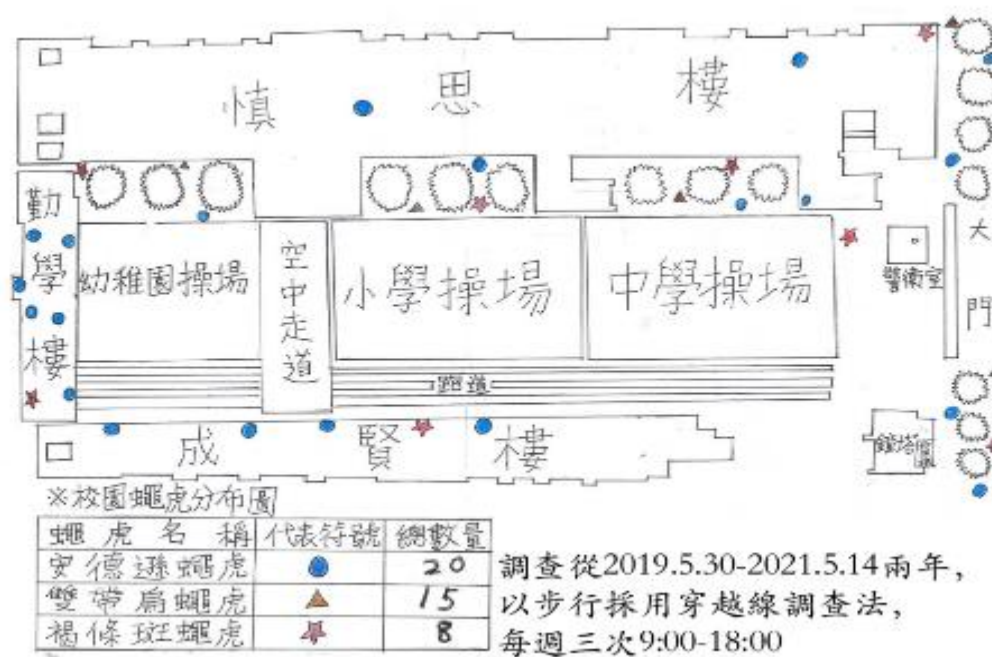


圖 6：校園蠅虎分布及調查方法

2. 確定研究品種

- (1) 搜尋臺灣現有蠅虎的種類與分布。
- (2) 查詢中央研究院生物多樣性研究中心（台灣生物多樣性資訊入口網）和行政院農業委員會臺農業改良場有關雙帶扁蠅虎（*Menemerus bivittatus*）種類與分布資料。
- (3) 查詢與確認研究樣本的雙帶扁蠅虎物種名稱和生態地位

表 1：雙帶扁蠅虎物種確定

性狀分辨類別	性狀描述	科學分類
外形	頭胸部有六對附肢，第一對為螯肢，第二對為觸肢，第三~六對為步足。	界:動物界
步足	步足四對，每一步足由七節所組成：基節、轉節、腿節、膝節、脛節、蹠節和附節。附節末端具二爪步足上常具有毛和棘刺；脛節會膨大，並附生流蘇狀長毛。	門:節肢動物門
雌蛛	雌蛛體長 7-10mm	綱:蛛形綱
雄蛛	雄蛛體長 5mm，體背具 Y 字型的黑斑。	目:蜘蛛目
紋路	頭胸背面灰白色，兩側具黑色條紋，腹背灰白色，腹緣亦有黑色條紋。	科:蠅虎科
		屬:扁蠅虎屬
		種: 雙帶扁蠅虎
		二名法
		 <p><i>Menemerus bivittatus</i> (Dufour, 1831)</p>

雙帶扁蠅虎生態地位

文獻探討

雙帶扁蠅虎（學名：*Menemerus bivittatus*）又名包氏扁蠅虎，為蠅虎科扁條斑蠅虎屬的動物。目前台灣產擬蠅虎亞科群蜘蛛10屬22種。分布大多數熱帶地區的國際大都市，普遍分布於平地至低海拔山區，常見於住家、樹幹、欄杆等處活動。生態地位與另一種白鬚扁蠅虎近似，雄蛛斑型也相同，前列眼中央有一條白色的縱斑，雌蛛腹背不具黑邊。(陳世煌，2001)

(二) 棲息地的生態環境

1. 棲息地

- (1) 調查校園棲息地、社區公園、家裡附近臺北市近郊棲息地的生態環境
- (2) 進行分析和數量統計

(3) 調查方法：

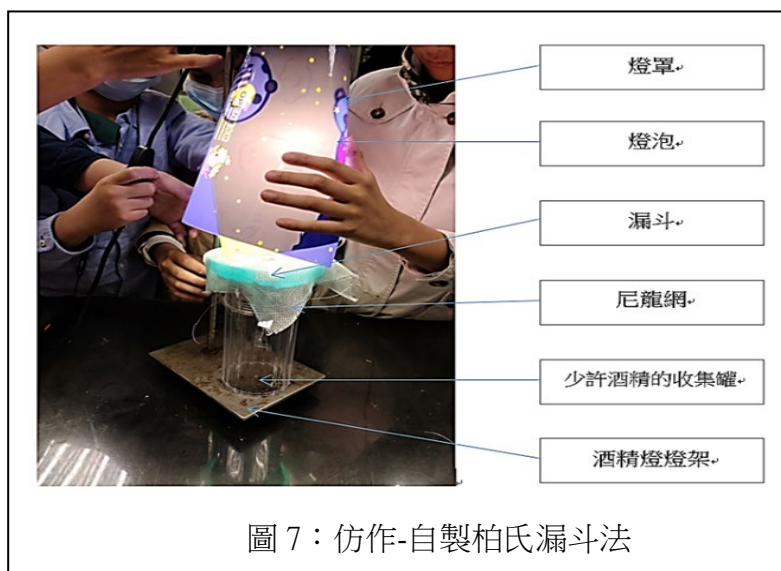
以田野調查的拍攝紀錄法，在學校與住家附近的公園、住宅區的巷弄間以及行道樹，觀察雙帶扁蠅虎的生長環境。以學校大門開始，每天上下學的路上，一路觀察，在不影響課業的情形下，進行調查。往北方及西方這兩個區域調查的同學，以穩定步伐步行 500 公尺內的鄰近三個公園為主。

2.微氣候

- (1) 下載中央氣象局，觀測資料查詢系統，每個月的天氣資料。
- (2) 分析學校周邊的遮蔽物與建築物，校園裡受到溫度、溼度、風向、風力、與所有的植栽與布置影響因子，以氣溫計、溫溼度計進行測量。
- (3) 以 Excel 統計月平均，繪製成分析圖表。

3.捕抓仿作柏氏漏斗法實驗

我們照著柏氏漏斗法採集落葉堆下的蜘蛛，可惜捕抓效果很差，因為蠅虎是趨光、非地棲性動物，所以我們改用可以懸掛在樹上或是公園裡的看板上的透明長方形盒，裡面裝有安全的LED燈泡可以加溫又有色光，洞口設計進口洞大，出口洞小，蠅虎進去後就不容易爬出來。裡面放有蜘蛛習慣的樹皮，隔層網放活的蒼蠅，讓蒼蠅出不來，還可以引誘蠅虎爬進去！



二、研究捕食、求偶，不同姿勢與動物行為

(一) 設計布置天然、容易餵食的飼養盒。

1. 利用吃完的優格瓶（大瓶裝、家庭號），洗淨、擦乾，先用釘子戳幾個孔，然後在靠近優格瓶蓋不遠處，割出一個和吸管管徑相同的洞口。

- 2.剪下約5cm長的吸管，一端塞棉花，另一端插入優格瓶的洞口。
- 3.使用壓舌板來剪裁布置結網小房子，用雙面膠固定在蓋子的內側。簡約舒適的飼養箱就完成了。
- 4.依照蠅虎的需求，可以加樹枝、枯葉黏貼於飼養箱裡，供蠅虎攀爬、跳躍。

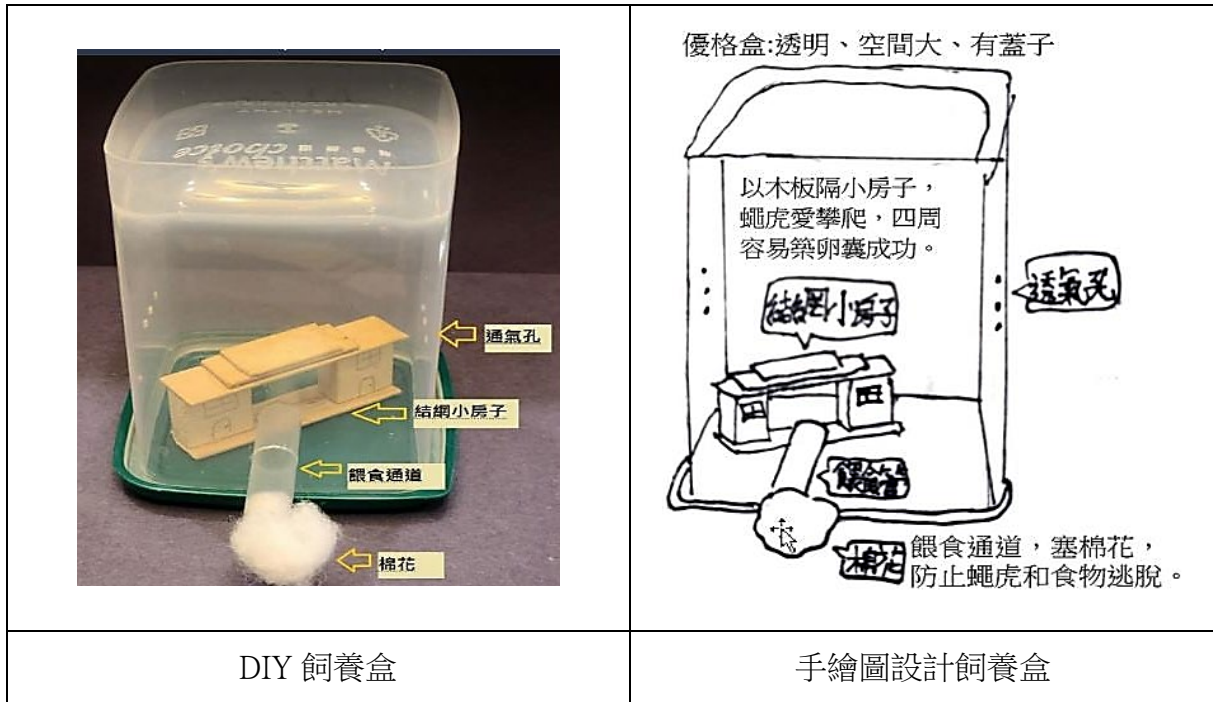


圖 8：雙帶扁蠅虎飼養環境之設計及記錄

(二) 設計容易觀察分齡和求偶的飼養盒，進行觀察

1. 觀察分齡

(1) 進行蠅虎分類

蠅虎科的特徵不明顯，需要仔細的對照及觀察，才能確保不會識別錯誤。

雙帶扁蠅虎外型特徵：

頭前列中眼下有橘黃色分布，不具白色縱向斑紋，腹背扁平，呈現灰白色，會有深色黑斑在頭胸兩側，足部各節間也有黑斑分布。雄蛛背側腹部中央有Y字型黑色縱斑，腹部較頭胸窄小，雄成蛛約 5-9mm，觸肢為黑色且會有膨大現象。雌成蛛體長約 7-9mm，頭胸及腹部兩側邊緣具有黑色條紋。雌雄若蛛外觀，與其成蛛相似，三齡若蛛，斑紋較為明顯，可單獨行動並已具備捕食能力。

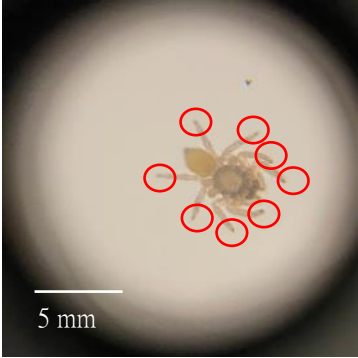

	
<p>雙帶扁蠅虎雌成蛛（步足以尖端觸地）</p>	<p>雙帶扁蠅虎顯微鏡下的明顯四對步足，三齡若蛛，已開始具備捕食能力。</p>
 <p style="text-align: center;">腹部橢圓</p>	 <p style="text-align: center;">腹部扁平</p>
<p>雌蛛腹部橢圓形(體背紋路黑圓邊)</p>	<p>雄蛛腹部（體背紋路 Y 字型黑斑）</p>

圖 9 蠅虎外型特徵

(2) 自訂雙帶扁蠅虎的分齡：

蜘蛛的發育和昆蟲一樣，也從卵開始。在卵囊的保護下，蜘蛛卵順利的孵化為幼蛛，幼蛛會暫時留在卵囊內，直到第一次蛻皮後才會咬破卵囊走出來，這個階段的小蜘蛛稱為若蛛，因為已經經過一次蛻皮，這時的若蛛為二齡若蛛，牠們並無吐絲能力，也沒有毒液，靠著儲藏於體內的卵黃維生，只需補充水分，過著數日的群體生活，待第二次蛻皮後，成為三齡若蛛，由於已開始具



圖 10：雙帶扁蠅虎外型特徵

備捕食能力，所以牠們便各自分散，獨立生活。蜘蛛的發育過程並不像蝴蝶、甲蟲般，得經過蛹的階段，而是隨著蛻皮漸漸長大，最後成為成蛛，採用不完全變態的生長方式。至於需要經過多少次蛻皮才能完全發育為成蛛，則依蜘蛛的種類不同而異。

2.觀察求偶步足設計實驗

材料：30x19x17cm 壓克力飼養箱，透明壓克力墊板，四棵葉片大且柔軟的植物，兩個不透明塑膠盒、空氣噴頭、捕蟲網、布丁杯。

步驟：利用採集來的蠅虎（安德遜、雙帶扁），個別放在飼養箱裡觀察、記錄。

（1）每兩天餵食一次，每次一到兩隻蚊子或小蒼蠅。選擇身體完整、且顏色漂亮、觸肢膨大的雄

雌來交配(代表性成熟)。雌蛛則選擇體型稍為嬌小（怕把雄蛛直接當獵物吃掉）

。在進行求偶實驗的前一天，一定要餵食來減少雌蛛吃掉雄蛛的機會。

（2）選擇透明壓克力箱作為求偶的觀察箱，蓋子換成一張透明塑膠板墊。沿著板子的四周邊緣，塗上可重複黏貼的雙面膠帶，便利於開啟和密合。箱子的四角放置葉子大而柔軟的盆栽，以便雄蛛躲藏。另外，準備噴頭、迷你捕蟲網和救援工具，以備不時之需。

（3）求偶實驗當天，把雄蛛和雌蛛分別放入不透明的小盒裡，再把小盒放入交配箱。一小時後，先把雄蛛從小盒裡放出來熟悉環境。二十分鐘後，再把雌蛛從小盒子裡放出來。這時要密切注意雄蛛和雌蛛的互動。

（三）用顯微鏡和手機放大拍攝蠅虎步足的捕食、求偶姿勢。

1.捕食：

我們以當下存活的 20 隻成蛛進行觀察。發現觀察到雙帶扁蠅虎竟然可以快速行走，應該跟四對步足的結構、關節構造都有關，而能在光滑的表面與用尖端攀爬，應該是與步足尖端構造有關，所以，進一步做顯微拍照與攝影。



圖 11：自製雙帶扁蠅虎分齡

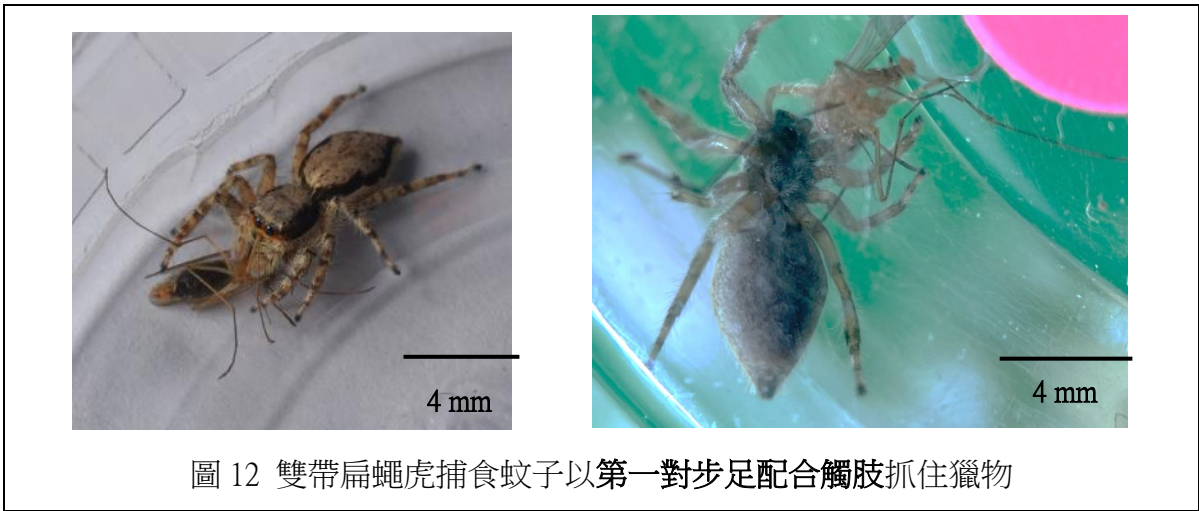


圖 12 雙帶扁蠅虎捕食蚊子以**第一對步足配合觸肢**抓住獵物

圖 11：顯微鏡和手機放大拍攝捕食(不同於求偶和蜷縮)步足。

2.求偶步足觀察

方法：

- (1) 讓雙帶扁蠅虎在飼養盒中先餵飽
- (2) 實驗準備：分別把雄蛛放入大盒、雌蛛放入小盒，然後把大盒罩在小盒上，彼此感受對方。
- (3) 我們在一旁架設攝影器材等候。

三、測試蜷縮的程度、在光滑面爬行分析。

(一) 進行雙帶扁蠅虎引誘、蜷縮洞穴設計

實驗原由：在我們飼養蠅虎來觀察時，發現有蠅虎不見了，問了所有的同學，沒人去開觀察盒的蓋子，

於是我們合理的推論，蠅虎能從觀察盒的孔洞中縮小蜷縮，

我們想用實驗來證明蠅虎是否真的能縮小嗎？

實驗方法：

材料：圈尺、紙板、剪刀、鉛筆、布丁盒、挖洞小工具、刀片

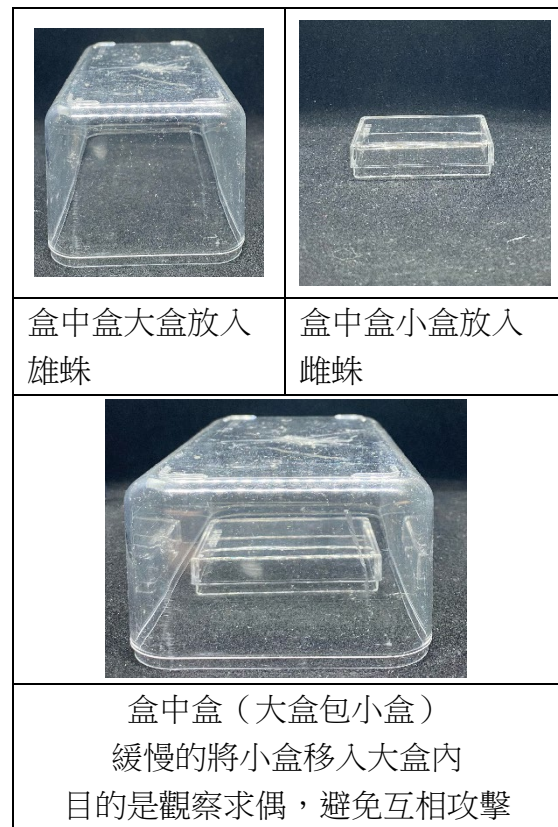


圖 13 雌、雄雙帶扁蠅虎在盒中盒

步驟：1.在紙板上畫出八個圓，如圖 14。

2.在八個圓上畫上不同直徑大小的小圓，分別為 0.6cm、0.55cm、0.5cm、0.45cm、0.4cm、0.35cm、0.3cm、0.25cm，8 種大小。

3.將 8 個大圓用剪刀剪下，再用小工具依照設計鑽出不同大小的小洞。

4.將布丁盒上蓋畫出一個圓後，以刀片割下，形成一個大洞。

5.將有著不同大小洞的紙板，蓋上布丁盒上蓋的大洞，即完成我們的縮小裝置，只要換上不同的紙板，即可測試蠅虎能夠穿過多小的小洞。

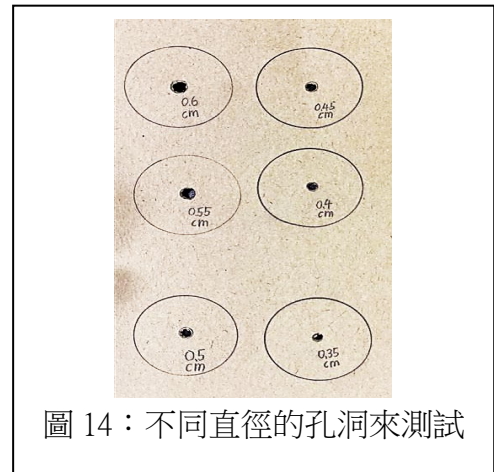


圖 14：不同直徑的孔洞來測試

(二) 進行雙帶扁蠅虎蜷縮大小分析

材料：方格紙、玻璃培養皿

步驟：1.以方格紙為底，測雙帶扁蠅虎的面積
(以 a-j 編號記錄軀體大小。)

2.透過設計好的圓孔做實驗。

3.以 Excel 統計分析，繪製成圖表。



圖 15：蠅虎面積量測

(三) 蠅虎在不同材質表面的步足爬行速度，和不同密度杯子裡的攀爬力做比較、分析

材料：塑膠管、不同光滑度的地面材質、碼表

步驟：

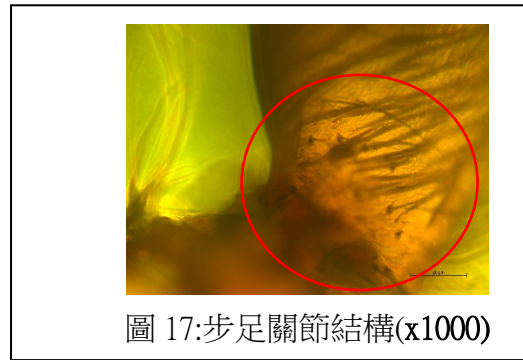
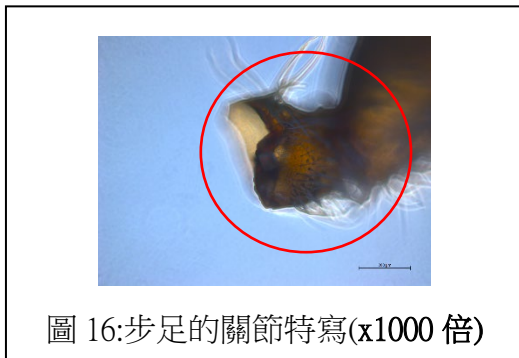
- 1.以不同材質(平面)的表面，引導讓雙帶扁蠅虎在不同材質表面爬行。
- 2.記錄雙帶扁蠅虎在 15 公分爬行不同材質表面，所需的時間。

材料：不同密度材質的杯子、透明蓋子

步驟：

- 1.以不同材質(垂直)的杯子，測試雙帶扁蠅虎攀爬能力
- 2.紀錄 10 秒內雙帶扁蠅虎在不同密度材質表面上滑落的次數。

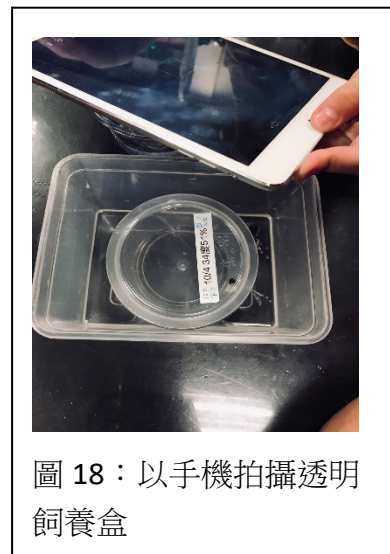
四、觀察步足姿勢、蜷縮姿勢，延伸到步足、關節結構，以設計仿生產品。



(一)觀察蠅虎移動時的步足仿生設計

步驟：

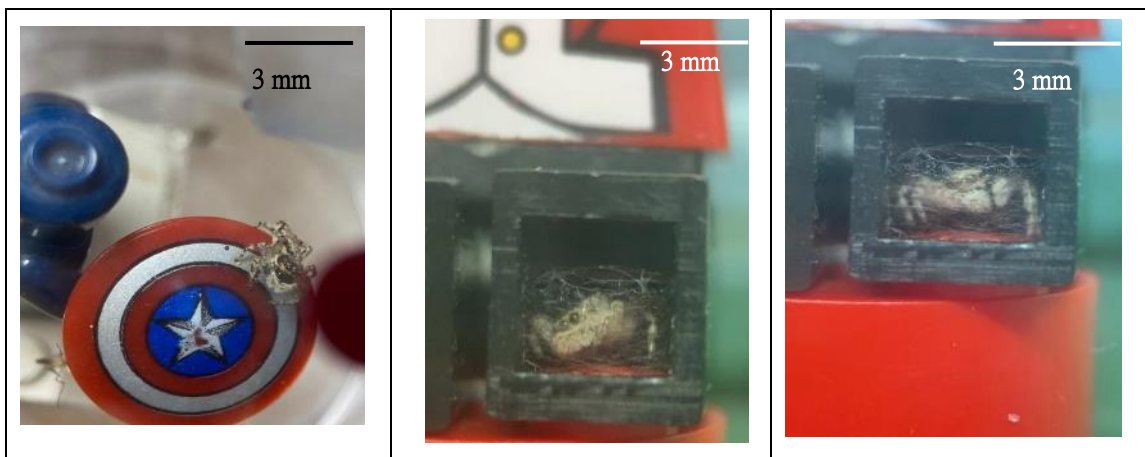
- 1.以透明飼養盒飼養雙帶扁蠅虎
- 2.擾動飼養盒，讓牠移動
- 3.以手機架固定拍攝和錄影
- 4.進行移動時，步足結構的觀察



(二)根據蠅虎趨觸性，觀察步足蜷縮仿生設計

步驟：

- 1.準備不同形狀及大小洞口的積木。
- 2.利用積木堆疊出不同的高度及縫隙。
- 3.蓋上一層黑色不織布，準備就緒，測試蠅虎會如何尋找合適地點躲藏。
- 4.經過一晚，再掀開黑色不織布，拍照。
- 5.進行蠅虎蜷縮時，步足結構的觀察



(三)顯微觀察蠅虎步足關節

步驟：

- 1.以顯微鏡觀察其四對步足。
- 2.仔細觀察七個關節的顯微構造。
- 3.根據每一個細紋結構的外型特徵，討論出步足的可能功能。

(四)根據以上蠅虎在步足姿勢、蜷縮姿勢、關節移動的顯微觀察後，使用膜狀矽膠片在小雨傘上製作仿生產品，加強小雨傘的穩定作用和使用效率。

伍、研究結果

一、調查校園內蠅虎的生態環境。

(一) 數量：43 隻

1.族群：我們在 2019 年 5 月到 9 月，將校園以九宮格，以八方位劃分採集與觀察到三種不同的蠅虎，分別為安德遜蠅虎(學名)、雙帶扁蠅虎(學名)以及褐條斑蠅虎(學名)。因為收尋科學教育館網頁找到有關**安德遜蠅虎**的科展 10 篇，故不列入我們的研究對象；我們的研究對象為**雙帶扁蠅虎**，捕捉共 15 隻，以單隻飼養。(不包含三個公園野外捕抓的 20 隻雙帶扁蠅虎)

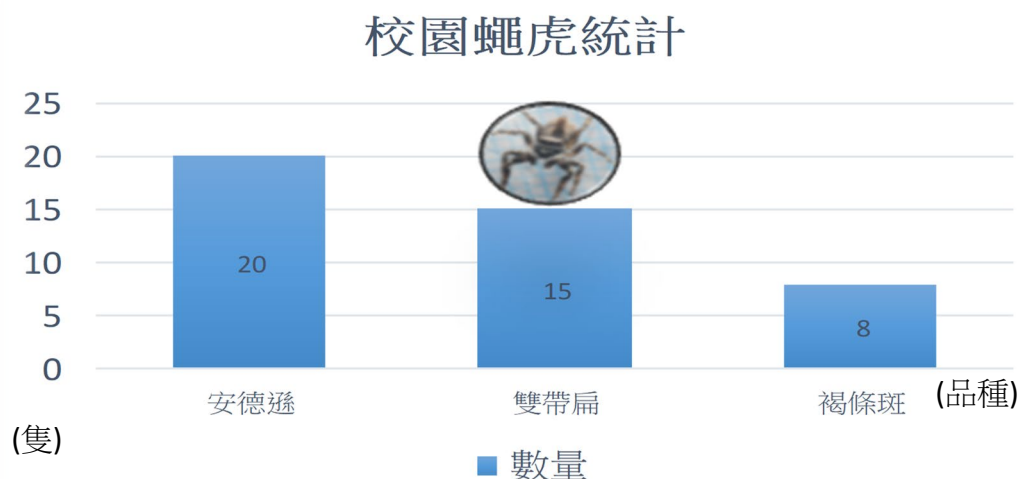


圖 20：校園捕捉蠅虎品種數量統計圖

(1) 雙帶扁蠅虎棲息的生態環境

棲息地：分布在城市，平地或低海拔山區。常見於住家、樹幹、欄杆等處，喜歡於牆角的隙縫築巢。另外，蜘蛛屬於捕食性的昆蟲，我們可透過有比較

多小昆蟲聚集的地方，找到牠們蹤跡。而在生態多樣的地方，我們也可發現蜘蛛的天敵，會在一旁伺機而動。我們發現牠的天敵有：鳥、壁虎、蜥蜴或其他食蟲性動物。而對較小型的蠅虎而言，蜈蚣寄生蜂、寄生蠅、蟎類、線蟲、菌類，甚至是其他種的蜘蛛。

(2) 與其他共存生物的生態調查

我們在棲息地發現共存的生物有：椿象、蜚蠊、蚯蚓、粉介殼蟲、六星瓢蟲、草蛉幼蟲、花金龜、蝸牛、其他種蜘蛛和其他種蠅屬。

(3) 生活史：蜘蛛屬於不完全變態的動物，在發育過程中，大多數的蜘蛛雖然有卵、幼蛛、若蛛、成蛛等不同齡期，但還是會有體色和身形大小的改變。

(4) 觀察與紀錄雙帶扁蠅虎的生活史：

雌蛛產卵後卵囊的顏色會漸漸加深，可能幼蛛正在成形；大約過 1-2 週，幼蛛已經有了蜘蛛外觀，會待在卵囊內，吃掉卵殼當營養；再過 1-2 週後，若蛛會從卵囊四散。進入若蛛期的蜘蛛蛻皮的時間都不太一樣，約 4-6 週蛻一次皮，總共需要蛻約 3-4 次。最後會變成成蛛，從此不再蛻皮。我們經過兩年的生態調查與實驗室飼養，**自行歸納**發現大致的生活史如下：

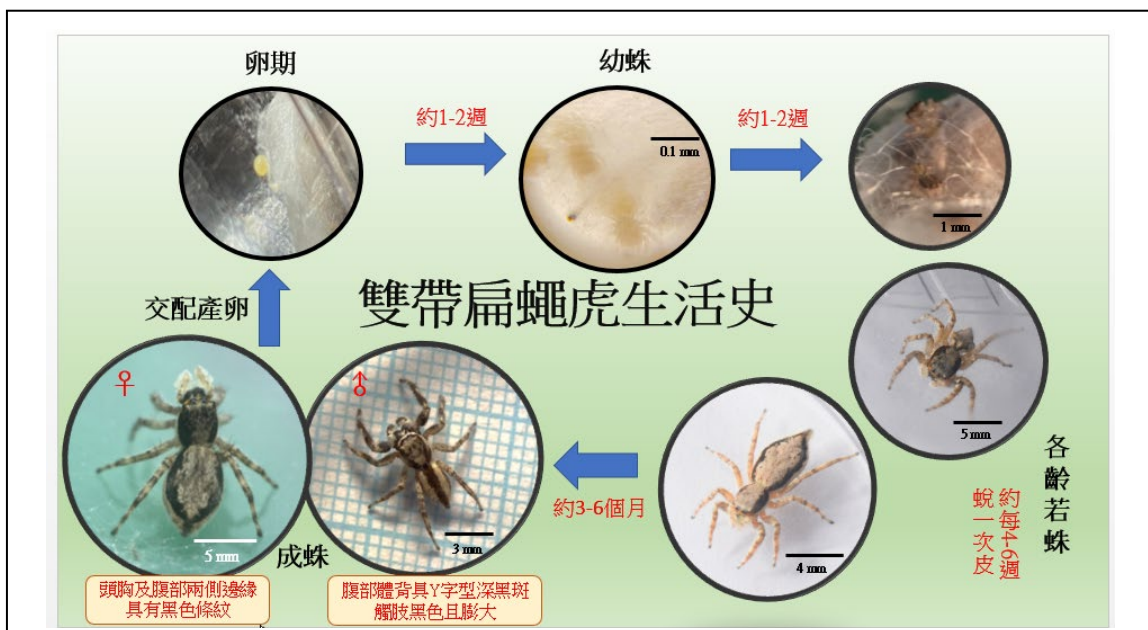


圖 21：雙帶扁蠅虎生活史

(二) 進行野外調查

觀察雙帶扁蠅虎的生態

1.結果：

- (1) 生長環境：一般棲息於庭院牆壁及欄杆處，也喜歡在縫隙裡結網築巢。會剝落樹皮的樹幹尤其是光臘樹，最受到雙帶扁蠅虎的喜歡，是牠們覺得安全的地方。牠們會躲在翹起來的樹皮下產卵、蛻皮。我們尋獲牠們的方式，最主要就是觀察樹幹上面有沒有蜘蛛絲。有的樹上有一點一點的白色絲，有些樹上會結滿一整片的絲，但是這些絲並不是用來捕捉獵物的絲，而是晚上保護自己的巢絲，就像是我們去露營用的帳篷。因為發現這個網袋，我們觀察到牠們最喜歡樹木是光臘樹之外，在木麻黃樹幹上發現四隻雙帶扁蠅虎的幼蛛。
- (2) 習性：以跳躍的方式避開天敵與捕捉獵物。通常雌蛛的附近都會有雄蛛的身影。喜歡棲息和徘徊在附近有很多餐廳的公園裡。雖然視力好，身手矯健，但是喜歡等待獵物靠近之後，再撲擊。而非追著獵物跑的方式進行獵捕。牠們容易受到驚嚇和逃跑。
- (3) 捕捉方式：要帶回實驗室觀察的時候，我們也不需要帶捕蟲網。只要利用瓶口大且深的盒子，例如飲料杯，對準雙帶扁蠅虎蓋上去，當牠跳進杯子底部時，快速的蓋上蓋子，就可以成功的捕捉牠。



(三) 學校的微氣候

我們學校是都會區的學校，四周都有高聳的高樓大廈，捕抓的地點大多在朝向東方的陽臺(喜愛陽光)和教室後的小花園，生態環境的風力不強(不喜歡有側風處)，角落的鄰近自動灑水器潮溼處非常多(喜歡潮濕)，但是在陽光普照或剛下過雨後，最容易在花盆上發現牠的蹤跡(喜歡攀爬)，在不同時間但同一地點採集的結果，會受到學校微氣候的不同，可能導致族群消長及分布改變。例如：環境氣候改變、獵物的分布和獵物的數量改變或是天敵，都會影響蜘蛛的族群量消長。以 Excel 統計中樣氣象局月平均，對照自行測量學校的氣溫、溼度、風向、風力和調查到隻數、捕抓到隻數，繪製成圖表的結果為：

表 2：2020.1.20~2020.12.11 年每月最高和最低氣溫及在野外調查雙帶扁蠅虎紀錄

觀測日期	氣溫(°C)	最高氣溫	最低氣溫	相對溼度(%)	風速(m/s)	風向(360degree)	降水量(mm)	捕捉隻數	調查隻數
1月20日	16.5	28.6	7.5	66	0.6	97	0	0	7
2月25日	24.8	29.5	9.6	58	0.1	0	0	0	7
3月17日	26.4	32.3	13.2	29	0.5	276	0	2	8
4月14日	23.3	32.2	10.5	42	1.8	93	0	3	11
5月22日	25.2	36.2	21.4	100	0.6	83	2.5	0	12
6月23日	35.7	38.1	23.3	50	2.1	257	0	1	10
7月17日	33.8	37.6	23.7	61	1.7	64	0	1	13
8月25日	36.6	37.7	24.2	36	1.9	256	0	1	15
9月15日	30.2	37.2	20	79	1.1	81	0	1	17
10月20日	23.3	35.3	18.5	91	1.2	87	0	3	16
11月17日	24.7	33.4	17	78	1.1	76	0	2	10
12月11日	20	25	15.2	97	1.1	70	0.5	1	5
平均	23.6	33.6	17.0	65.6	1.2	120.0	0.3	1	11

(備註：此處為三處公園的自行測量環境微氣候因子，在實驗室前後陽臺一年四季都可以在所有盆栽發現雙帶扁蠅虎，故不列入野外採集)

結論：根據本組的研究調查配合氣溫和濕度的整理，發現雙帶扁蠅虎容易出現在：

- 1.在氣溫 20.0°C ~36.6°C 的溫度下，容易有雙帶扁蠅虎出沒。
- 2.在晴天陽光充足的環境，容易發現雙帶扁蠅虎出沒。
- 3.在下雨過後或未降雨相對濕度在較高 (5/22 兩天不會出沒)的時候，容易發現牠的蹤跡。

4.一到三月(1/20.2/25.3/17))風力太強或氣溫太冷時，不容易發現牠們活動。



圖 23:野外採集情形

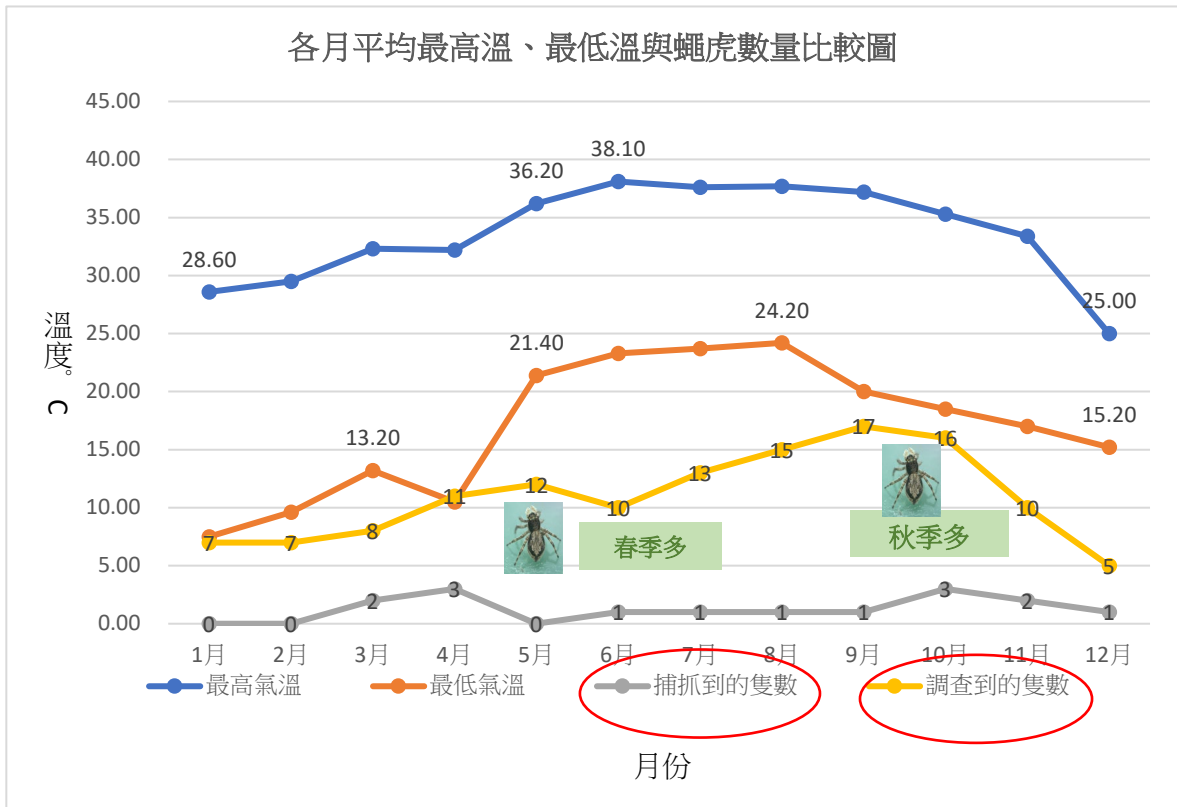


圖 24：各月平均最高溫、最低溫與野外調查、捕抓到蠅虎數量比較圖

二、捕食和求偶，雙帶扁蠅虎的動物性行為

(一) 雙帶扁蠅虎外型特徵：

腹背扁平，前列中眼間不具白色縱向斑紋。體色呈現灰白色，帶點橘黃色，有深色黑斑在頭胸兩側，足部各節間也有黑斑分布，雄蛛背側腹部中央有Y字型黑斑，成雄蛛觸肢黑色且膨大。雌雄蛛在三齡前的若蛛外觀，無法分辨性別。


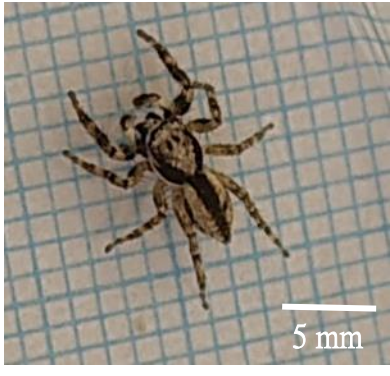
雌成蛛	雄成蛛
	
<p>體長約 7-9mm，頭胸及腹部兩側邊緣具有黑色條紋，腹背灰白色。前列中眼下有橘黃色分布。</p>	<p>體型略小，約 5-9mm，腹部較頭胸窄小，頭胸背板灰白色，腹部體背具 Y 字型的深黑斑。成蛛觸肢為黑色且會有膨大現象。</p>

圖 25：雙帶扁蠅虎雌雄外型特徵

	
<p>前中眼間不具白色縱向條紋</p>	<p>雌成蛛具有外雌器</p>

圖 26：雙帶扁蠅虎眼部特徵及雌成蛛外雌器(膨大判斷性成熟)

(二) 雙帶扁蠅虎捕食步足觀察

1. 捕食步足姿勢

- (1) 纏絲：蜘蛛絲透過絲疣產生，我們觀察到，蠅虎跳躍、蜷縮時，會用到絲線來保持平衡。另外也用細絲纏住獵物，等到獵物死亡或是蠅虎肚子餓時，才會去取食。

(2) 懸垂絲：敏銳的視力，出色的掠食策略，完美跳躍能力，加上保持平穩安全著陸的懸垂絲。雖然跳蛛沒有翅膀，卻能利用懸垂絲使自己在跳躍及著陸時保持穩定。遇到危險時，利用懸垂絲快速後退，逃離。



圖 27：雄成蛛與懸垂絲

(3) 捕食步足姿勢：

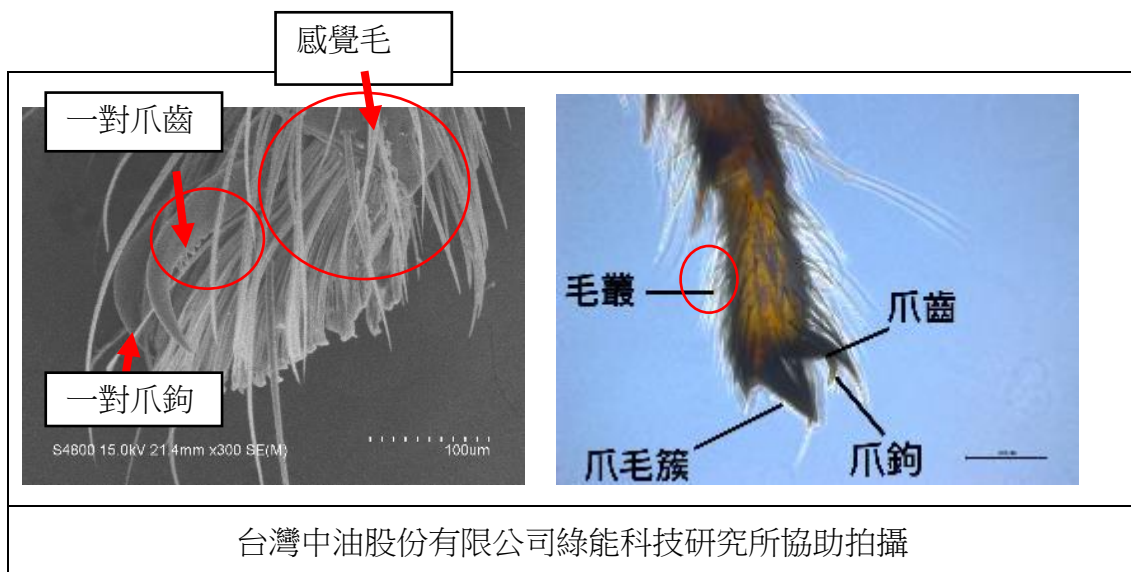
步態看起來很複雜，仔細觀察，卻像兩隻四條腿的動物拚在一起走路，前面兩隻腳輪流往前 第一對步足(R1、L1)跟第二對步足(R2、L2)跟左右相反的往前，即 (R1+L2；L1+R2)，第三對步足(R3、L3)模仿第一對步足的順序，第四對步足(R4、L4)模倣第二對步足(R2、L2)。以第一對步足(R1、L1)和 第二對步足(R2、L2)進行捕抓獵物。



圖 28：蠅虎捕食之步足姿勢

(4) 掃描式電子顯微鏡和光學顯微鏡觀察步足結構：

雙帶扁蠅虎用 8 隻腳走路，每隻腳上都有著細毛、剛毛、感覺毛等各式各樣的體毛，除了有保護步足的功能外，依據不同體毛的類型，還可以用於感覺聲音、空氣振動或是判斷氣味，經由與體毛相連得神經系統，進行補獵、尋偶等行為。



台灣中油股份有限公司綠能科技研究所協助拍攝

圖 29：掃描式電子顯微鏡和光學顯微鏡下的蠅虎步足

光學和掃描式電子顯微鏡都觀察到步足上的許多茂密剛毛及細毛，並有尖端倒鉤的爪齒和尖刺的爪鉤，讓雙帶扁蠅虎可以在光滑表面上快速爬行！雙帶扁蠅虎會先用身體一側的第一、第三對腳和另一側的第二、第四對腳；再用一側的第二、第四對腳和另一側的第一、三對腳的模式爬行。快速爬行應該跟四對步足的結構、關節構造都有關，而能在光滑的表面與用尖端行走應該是與構造有關，這些值得我們往仿生設計深入研究。

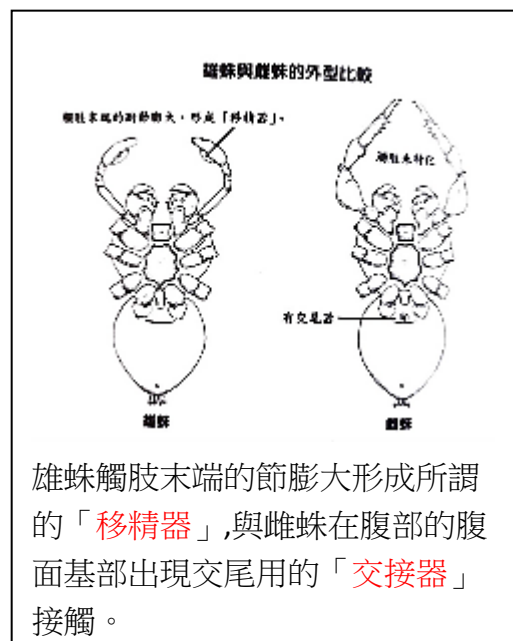
在我們飼養觀察時就發現，雙帶扁蠅虎的視力似乎不如牠們利用感覺毛收集震動捕食獵物來的靈敏，好幾次我們發現，當飼養觀察盒中的獵物靜止不動時，雙帶扁蠅虎會出現撲食錯誤的情形，牠們會往之前吃剩已經死亡的獵物撲食，但是當獵物開始快速移動，牠們又馬上能找到獵物，並迅速上前，以第一對步足(R1、L1)和二對步足(R2、L2)進行捕抓獵物。可見在捕食上，牠們依賴感覺毛去感覺物體的移動，比使用八顆眼睛還要敏銳很多！

(三)求偶舞步足：

當雄的雙帶扁蠅虎成熟後，遇上心儀的雌蛛，便會跳起非常特別的求偶舞，以吸引雌蛛的注意，進而取得交配權。我們觀察到的雄蛛求偶舞步足大致如下：

- 1.雄蛛以 Z 字型前進，往雌蛛方向。
- 2.雄蛛舉起第一對步足，向前抖動。
- 3.雄蛛持續以 Z 字型前進，並震動尾部敲打出聲。
- 4.雄蛛緩步靠近雌蛛
- 5.雌雄蛛互相觸碰第一對步足。

6.雌蛛維持不動姿勢，雄蛛緩慢爬上雌蛛，開始交配。雌蛛若靜止在原地，便是允許雄蛛可以展開交配。雄蛛就會以四對步足緩慢爬到雌蛛背上頭尾相反，觸肢接觸雌蛛的「交接器」。雌蛛若是前進或者後退，都不是交配的行為，雄蛛應當立即迴避和蜷縮，以免被雌蛛當成食物受到攻擊。在我們的實驗觀察中發現，求偶舞的過程滿快的，約 3-5 秒，雄蛛冒著極大的危險為了繁衍下一代而努力，倘若判斷錯誤，就



會成為雌蛛的大餐！而經由幾次的觀察，

我們歸納出成功的關鍵：

雌蛛一定要餓飽了，才能進行此一實驗。雄蛛的體型必須非常健美、完整，不能有缺腳。如果雌蛛維持姿勢不變，那就表示雄蛛有機會了。

反之，如果雌蛛向前靠近雄蛛，就要迅速隔開牠們，這樣的動作並不表示雌蛛對雄蛛有興趣，而是把雄蛛當獵物，準備要攻擊了。

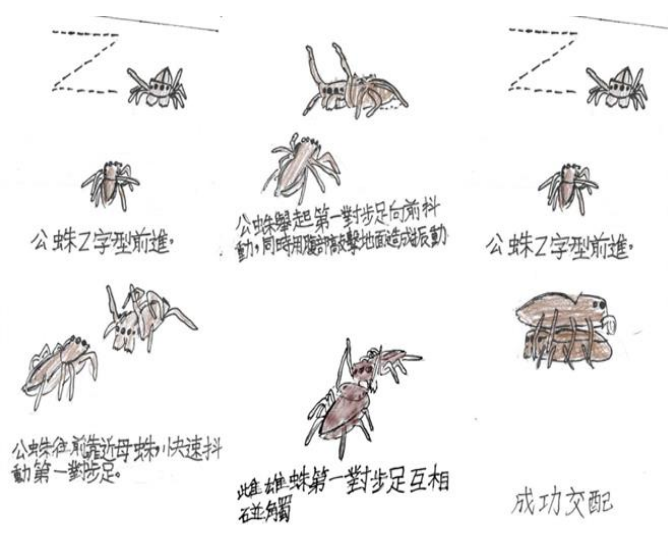


圖 30：雙帶扁蠅虎雄蛛求偶舞之步足擺動

1.雄蛛朝向雌蛛高舉第一對步足並且快速上下抖動	2.雌蛛被雄蛛吸引	3.雄蛛走Z字型持續抖動步足尾部敲地面出聲	4.雄蛛持續Z字型這時偏離雌蛛	5.雄蛛持續Z字型這時走回到雌蛛的正前方
6.我們覺得雌雄蛛都在觀察對方，沒有攻擊的現象。迅速拿走小盒。	7.雌蛛緩慢的慢靠近雌蛛	8.雌蛛也高舉起第一對步足，雌雄蛛以第一對步足互相碰觸（打招呼）	9.雌蛛似乎沒有要交配的意思	10.雌蛛轉身選擇離開，雄蛛還是繼續高舉且抖動第一對步足

圖 31：雙帶扁蠅虎雄蛛求偶舞實際拍照圖

圖 31：雙帶扁蠅虎雄蛛求偶舞實際拍照圖

三、測試蜷縮，光滑面爬行

(一) 測試扁蠅蜷縮的程度

在實驗過程中，幾隻雙帶扁蠅虎死亡，我們將牠們泡酒精保存，之後拿方格紙來測量牠們的面積，拿來計算牠們在蜷縮實驗中，蜷縮的比例。



圖 32 測試蠅虎能夠穿過多小的小洞

圖 33 計算雙帶扁蠅虎蜷縮比例、大小

從十五隻，取十隻體長大於 6mm 的雙帶扁蠅虎，並編號作量測，以繪製圖表

表 3 十隻體長大於 6mm 的雙帶扁蠅虎，並編號作量測

編號	體長(mm)	體寬(mm)	面積(mm ²)
a	8	2	16
b	9	3	27
c	7	2	14
d	6	3	18
e	7	3	21
f	7	4	28
g	7	5	35
h	8	3	24
i	7	2	14
j	7	2	14

表 4 圓孔面積公式: 半徑 x 半徑 x3.14

圓孔直徑(mm)	圓孔半徑(mm)	圓孔面積(mm ²)
6.0	3.0	28.26
5.5	2.75	23.75
5.0	2.5	19.63
4.5	2.25	15.9
4.0	2.0	12.25
3.5	1.6	8.04
3.0	1.5	7.07
2.5	1.25	4.91

$$\text{蜷縮比例} = \frac{\text{蜘蛛面積} - \text{圓孔面積}}{\text{蜘蛛面積}} \times 100\%$$

依照這十隻雙帶扁蠅虎能鑽過最小的圓孔的圓面積，牠們蜷縮身體的比例分別為：

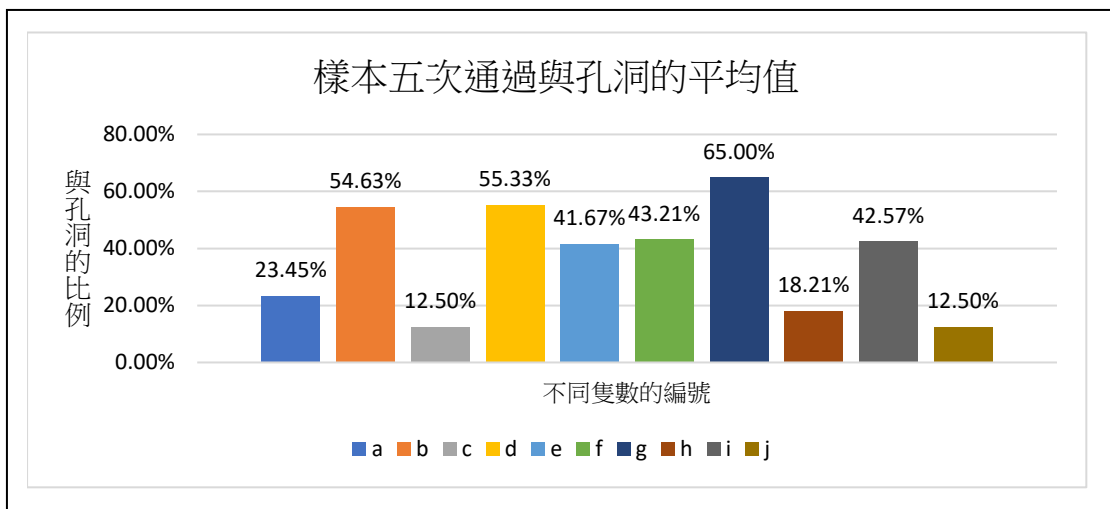


圖 34：雙帶扁蠅虎蜷縮身體的比例百分比統計圖

結論：

選取 10 隻雙帶扁蠅虎平均來說雙帶扁蠅虎的蜷縮身體比例為 36.91%蜷縮率，可通過 3.5-4 mm 的圓孔，圓孔直徑 2.5mm~6mm 共有八種不同差距 0.5mm 的圓孔大小。蜷縮比率為原本身體面積約三分之一，能穿越 2.5mm 的隙縫，非常驚人。

(二)、蠅虎在光滑面爬行分析:

研究結果：在塑膠板、玻璃、鐵盤、瓦楞板、廣告紙、蠟光紙、飛機木和砂紙等 8 種不同光滑度的地面，測試蠅虎在廣告紙上行走最快，需要 6.33 秒；在砂紙上行走最慢，需要 18.0 秒。其他如圖 35 的說明。

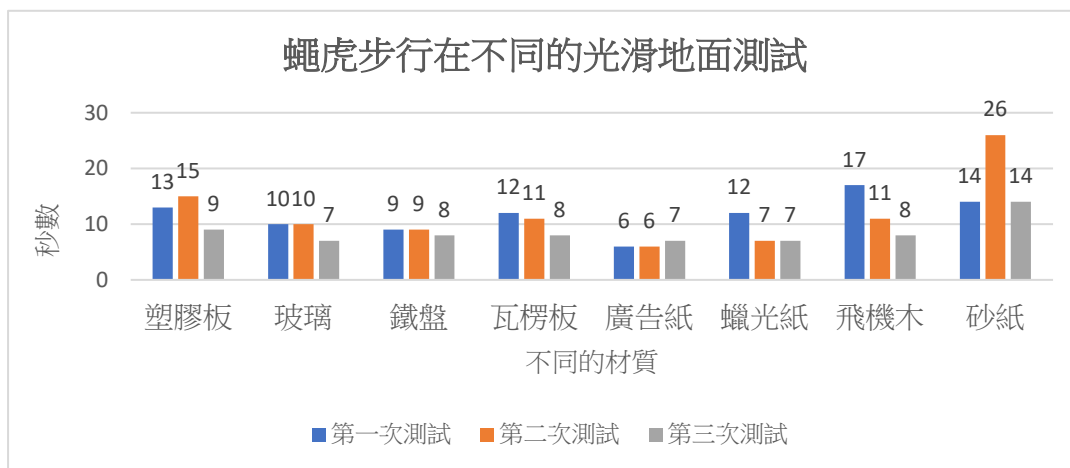


圖 35：蠅虎步行在不同的光滑地面測試

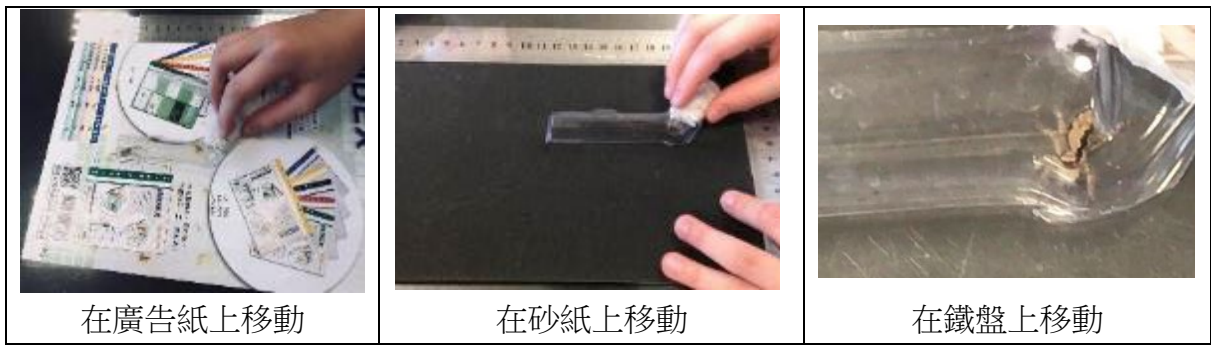


圖 36：測試在不同材質地面的移動速度

在相同距離的測試中，蠅虎在砂紙爬行最慢，平均 18.0 秒；在廣告紙爬行最快，平均 6.33 秒。這和我們的想法有一些落差，我們原本認為光滑的物體表面，缺乏摩擦力，蠅虎在光滑的物體表面爬行應該比較慢，但實驗結果證明蠅虎能在光滑的物體表面爬行，速度很快。所以接著做以下的實驗，觀察蠅虎能在多光滑的物體表面爬行，什麼時候無法爬行而滑落下來，跟步足的結構有什麼關係？

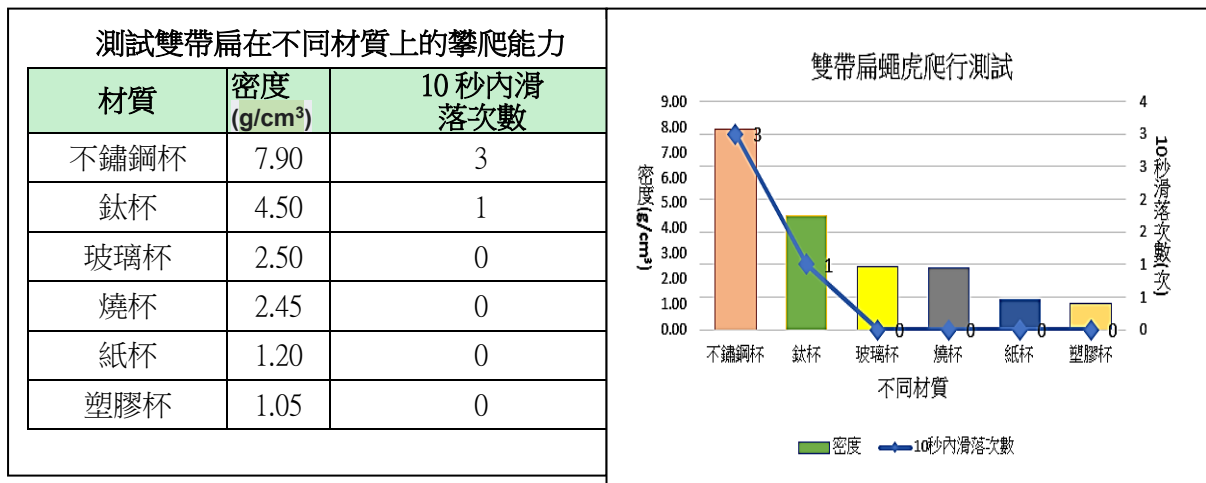
(三) 雙帶扁蠅虎在不同光滑面器皿的爬行分析

表 5 實驗數據：紀錄蠅虎在不同器皿上計時 10 秒內的滑落次數：

編號 雌、雄	a 雌成蛛	b 雄蛛	c 雄成蛛	d 雌蛛	平均值
不鏽鋼杯	3	0	10	0	3.25
鈦杯	1	0	2	0	0.75
玻璃杯	0	0	0	0	0
燒杯	0	0	0	0	0
紙杯	0	0	0	0	0
塑膠杯	0	0	0	0	0

備註：完全爬不上來的以 10 算，不健全的不列入實驗

表 6 蠅虎步足攀爬實驗



實驗結果發現：

1. 蠅虎步足在玻璃杯、燒杯、紙杯、塑膠杯攀爬，不會滑落；表示蠅虎步足尖端的一對爪勾、一對爪齒和爪毛簇能固定住密度 2.50 的光滑物體上，不會掉落。
2. 蠅虎步足在鈦杯、不鏽鋼杯攀爬，容易滑落；表示蠅虎步足尖端的一對爪勾、一對爪齒和爪毛簇難固定住密度 4.50 的光滑物體上，越光滑的物體表面越容易掉落。
3. 這個發現可以讓我們在將來的研究中，繼續努力於蠅虎一對爪勾、一對爪齒和爪毛簇的抓握力之仿生產品設計。

四、自行設計蠅虎步足移動、蜷縮、穩定等仿生設計。

仿生文獻探討(重點摘要)

	<p>步足顯微結構，有爪子和爪毛簇，和許多的剛毛，依據不同體毛的類型，當彎曲超過 90°時，彎曲力會急劇增加，這支持了「膜的彈性變形可能會支持蜘蛛的壓力引起的跳躍」的假設。在蜘蛛中，腔室是由關節膜以及連接到弓形硬骨且在其上拉動的屈曲肌肉形成的。透過改變屈曲線的位置進行的後續研究，可以更充分理解屈曲肌肉的附著位置、弓形硬殼的作用以及是否可以觀察到類似的力增加。此外，當組裝與蜘蛛類似的腳型時，屈曲角度應允許大於 90°跳躍性能。出自:Eggs, B., Wolf, J. O., Kuhn-Nentwig, L., Gorb, S. N. & Nentwig, W. (2015).</p>
<p>Hunting without a web: How Lycosoid spiders subdue their prey. <i>International journal of behavioural biology</i>, 121, 1-12.</p>	
	<p>這只是一個假設。當腳步移動時，會移動爪和腳墊，通過調整升降機的相對張力使爪子相對於前顎的其他部位上下移動。若出現額外的緊張情況，會引致倒閉。爪柄的褶皺部分可以伸長。在液體壓力增加的情況下，超伸也可與支架進一步分離有關。跳蛛使用肌肉彎曲腳部，且使用液壓致動方式來進行伸展。透過對其體內的液體加壓，牠們可以快速地伸展腳部以奔跑和跳躍。出自:Hill, D. E., (2010). Targeted jumps by salticid spiders</p>
<p>(Araneae: Salticidae: Phidippus). <i>Peckhamia</i> 84.1, 1-35.</p>	
	 <p>跳蛛的股骨、髕骨關節之間的關節膜使得蜘蛛的股骨、髕骨關節在其運動中產生關鍵作用。關節膜本身似乎是柔性的，雖然它並沒有像氣球那樣膨脹，而是在充氣時像薄塑膠袋一樣展開。出自:Gottler, C., Elflein, K., Siegwart, R. & Sitti, M. (2021). Spider Origami: Folding principle of jumping spider leg joints for Bioinspired Fluidic Actuators. <i>Adv. Sci.</i> 2021, 2003890.</p>

圖 37 三篇英文參考文獻

文獻探討的結論：

1. 蠅虎步足具有清楚的足底爪鉤、爪齒、爪毛簇能固定在光滑物體上，不會掉落。
2. 蠅虎步足的關節膜本身是柔性的，能協助蠅虎關節折疊時，關節運用液壓和肌肉的組合而能靈活伸展與蜷縮。

(一)蠅虎步足移動仿生設計

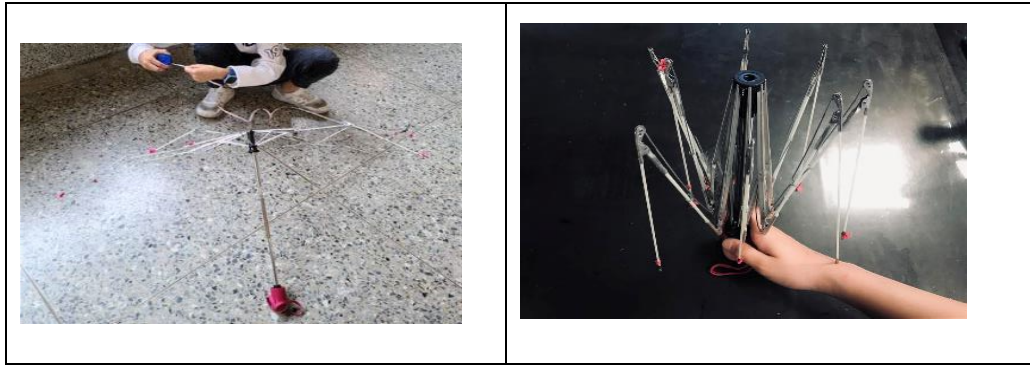


圖 38：利用摺疊雨傘架構想關節仿生之設計

(二)蠅虎步足蜷縮仿生設計

1. 雙帶扁蠅虎具有趨觸性，喜愛躲在夾縫中。趨觸性指的是動物對於環境，產生趨向或是背離，具有方向性接觸的行為反應。昆蟲具有各種趨性，因此對於覓食、求偶及尋找棲息地等，減少很多困難。昆蟲的耐饑、耐寒及忍受其他不良環境的能力甚大。當初會往這個方向想，最主要是因為雙帶扁蠅虎大多發現的位置，都在夾縫之中，跟蟑螂很像。我們認為蠅虎跟昆蟲在這方面很相似。
2. 大多時候，雙帶扁蠅虎牠們都縮在自己創造的空間內休息，直到有獵物出現在附近，才會從絲巢裡走出來。當我們在校園裡觀察時發現，雙帶扁會把巢絲築在很小的縫隙裡，例如捲曲的葉片，裂開的樹皮，或是牆壁的凹槽。

(三)蠅虎關節仿生設計

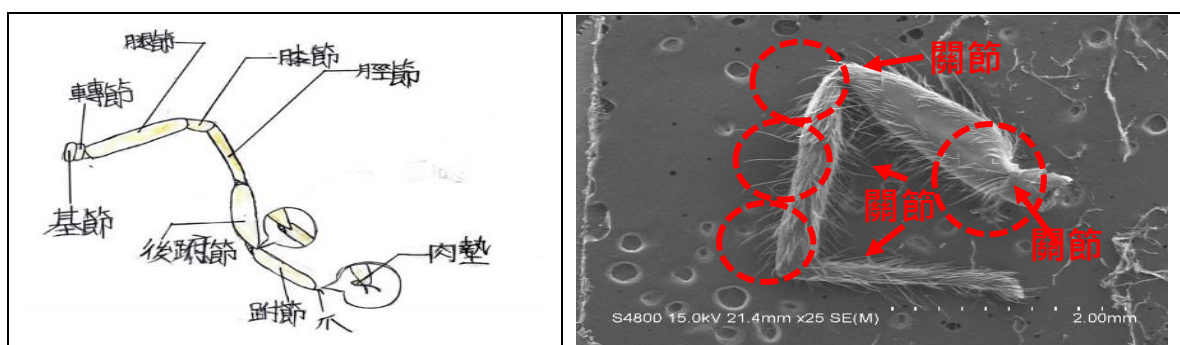


圖 39：蠅虎七個關節的顯微結構



圖 40：雙帶扁蠅虎關節仿生設計(使用雨傘穩定性仿生)

文獻發現：蠅虎步足的「關節膜」能協助蠅虎步足的關節折疊時，能靈活伸展與蜷縮。第一個我們使用鎖鏈關節但是容易斷、改良迴紋針關節又容易鬆脫、接著橡膠關節彈力夠面積太小、所以，第四種膜狀矽膠片面積大、縫合佳、彈力強做模仿步足的關節膜，如果使用在摺疊雨傘上，可以增加其穩定性和靈活性。以下是我們思考仿生設計的四種改善方式，最後仿生設計，期盼能使雨傘非常的穩固，不怕強風吹襲。

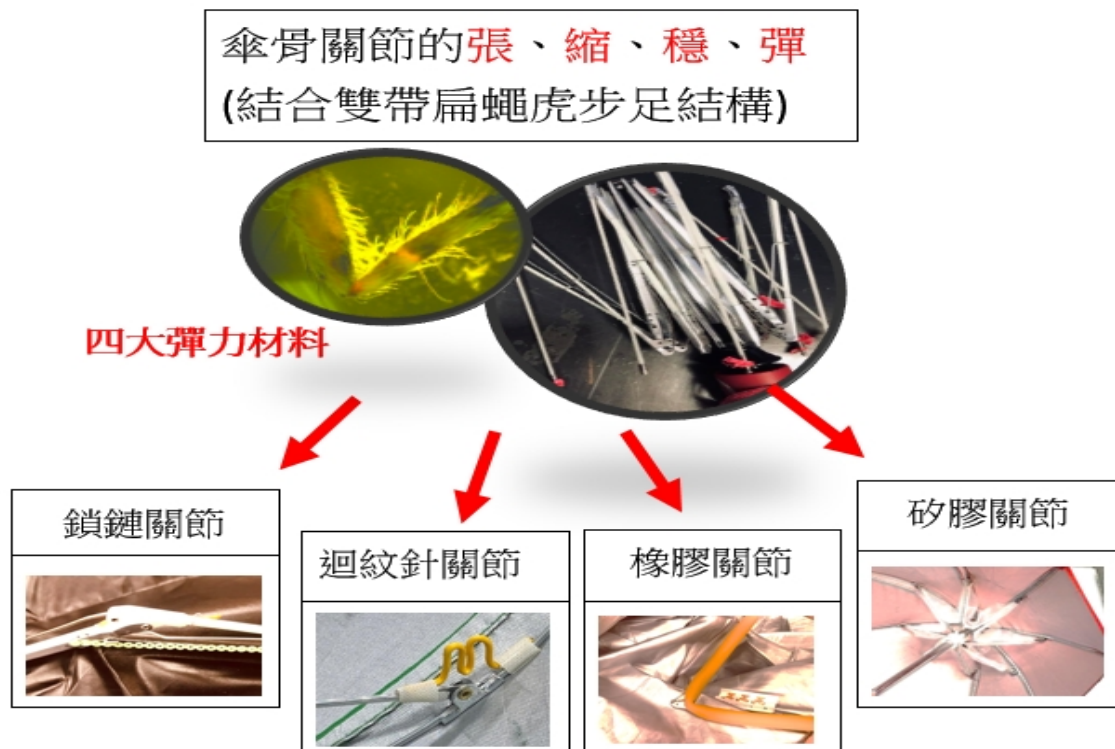


圖 41 雨傘關節仿生初步實驗圖

陸、討論

一、文獻差異：

- (一) 一般種類的蠅虎雄蛛在性成熟後，就會停止捕食而去尋找雌蛛；但是，雙帶扁蠅虎雄蛛性成熟後仍會繼續捕食。
- (二) 在文獻中有提到的日本某種蠅虎會向比自己體型大的獵物攻擊，但是，雙帶扁蠅虎卻比較不會向自己體型大的獵物攻擊。例如：雙帶扁蠅虎嗜食蟑螂，但只捕食比自己體型小或相等的蟑螂，比自己體型大的蟑螂就不補食。

二、我們在校園捕抓到三種不同的蠅虎共43隻(含15雙帶扁蠅虎)進行研究，飼養兩年，雙帶扁蠅虎成蛛死亡與幼蛛到三齡維持在約10隻，兩者交替削減，最後僅找出10隻成蛛進行蜷縮和攀爬實驗。其他還有三處公園等都有發現牠們的足跡，發現調查的數量遠遠超過捕抓的數量。發現，人工飼養成功率非常低，並不會因此次實驗，造成生態失衡。

三、育幼行為：

雌蛛產卵時，會待在飼養盒的底部角落。接下來會結網把卵包住，成為護寶寶的卵囊。卵是黃色的，雌蛛還會織一個像帳篷的網，是牠自己睡在裡面用的。雌蛛不吃不喝整天趴在卵囊的上方，有的雌蛛幾天後會跑出，有的雌蛛會保護小蛛，直到小蛛孵化。

產卵時母蛛會尋找安全的角落，例如飼養盒的底部，或是積木裡。

多數母蛛不吃不喝在卵囊裡一直待到幼蛛脫完第一次皮咬破卵囊出來，也有母蛛生完就離開的。

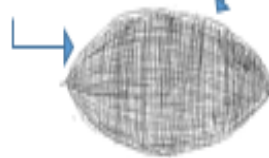


圖 42：雙帶扁蠅虎育幼行為(示意圖)

四、懸垂絲研究、延伸設計、創意仿生。

懸垂絲(Drop line)是由最堅硬的絲蛋白組合而成，結網蜘蛛用於網的外圍來增強和外擴的框絲，跳蛛主要是用在彈跳時的生命線，和緩垂直下降的垂絲，類似安全繩的功用，以後可測試韌性。

柒、總結

一、調查校園蠅虎生態環境

發現：校園有許多雙帶扁蠅虎，在校園中，我們分別在牆壁角落、隙縫、可撥開的樹皮等處找到牠們。雖然雙帶扁蠅虎是能跳的，牠們大部分時間都蜷縮在自己創造的空間內休息，直到有獵物出現在附近，才會從巢絲裡走出來。當我們在校園裡觀察時發現，雙帶扁會把巢絲築在很小的縫隙裡，例如捲曲的葉片，裂開的樹皮，或是牆壁的凹槽。在實驗室裡，雙帶扁把絲巢築在積木4.0mm及3.5mm的圓孔裡，2.5mm的夾縫中，或是板子底下。

二、研究捕食、求偶、蜷縮，三種不同步足姿勢比較。

發現：捕食步足：自行歸納出四個不同的動作，潛行：緩慢接近獵物。撲擊：接近獵物到達一定距離後，隨即跳向獵物，以毒牙咬住獵物。迂迴：當獵物體型與自身體型相近或稍大時，不會直接自獵物前方攻擊，而是繞至獵物的側面或後面。迂迴，頭胸部隨時朝向獵物以注意獵物動向。刺擊：為一種防禦及攻擊行為。將第一對步足筆直向前方推刺。

求偶步足：雄蛛會以多變化的舞蹈來吸引雌蛛，雌蛛若是接受便會靜止不動，而雌蛛拒絕則會以攻擊或逃跑的方式躲開交配。

蜷縮步足：受到干擾或需要躲藏時，會縮起步足，鑽進絲巢或是狹窄空間。

三、測試蜷縮的大小。

發現：在實驗室裡，雙帶扁蠅虎把絲巢築在積木4.0mm及3.5mm的圓孔裡，2.5mm的夾縫中，或是板子底下。步足蜷縮的程度非常明顯。

四、觀察步足姿勢、蜷縮姿勢，延伸到步足、關節結構仿生運用到生活中的設計。

發現：設計與觀察蠅虎步足移動、蜷縮的反應與構造，然後根據雙帶扁蠅虎步足的「關節膜」特徵，設計「膜狀矽膠片」應用在摺疊雨傘上，可以增加摺疊雨傘的穩定性和靈活性。

未來展望

一、能深入研究步足顯微構造的原理，延伸設計生活中的創意仿生產品。

二、能深入研究步足尖端的爪勾、爪齒和爪毛簇。

前附節：與防滑特性做結合，將來可以應用在仿生設計上。

三、能深入研究蜘蛛絲。

懸垂絲與纏絲：期待能再深入研究，延伸設計生活中的創意仿生。

四、能深入研究步足蜷縮。

關節膜：期待能再深入研究，延伸設計生活中的創意仿生。

捌、參考文獻資料

- 1.中央研究院生物多樣性研究中心（2000）。雙帶扁蠅虎
取自 <https://www.tbn.org.tw/taxa/363e7721-0c73-4d47-845a-0439bed388d7>
- 2.中央氣象局觀測資料查詢（2020）。（2020年報表）。
取自 <https://e-service.cwb.gov.tw/HistoryDataQuery/index.jsp>
- 3.陳世煌(2001)。台灣常見蜘蛛圖鑑。台北市:行政院農委會。
4. Eggs, B., Wolf, J. O., Kuhn-Nentwig, L., Gorb, S. N. & Nentwig, W. (2015). Hunting without a web: How Lycosoid spiders subdue their prey. *International journal of behavioural biology*, 121. 1-12.
5. Hill, D. E., (2010). Targeted jumps by salticid spiders (Araneae: Salticidae: Phidippus). *Peckhamia* 84.1, 1-35.
6. Gottler, C., Elflein, K., Siegwart, R. & Sitti, M. (2021). Spider Origami: Folding principle of jumping spider leg joints for Bioinspired Fluidic Actuators. *Adv. Sci.* **2021**, 2003890.

【評語】 080310

此作品中對蠅虎的捕食、求偶、蜷縮，三種不同步足姿勢比較有詳盡的觀察與描述，是此研究中相當有價值的部分。此外，能夠從步足構造觀察中聯想到仿生物件設計，頗具巧思。觀察步足姿勢、蜷縮姿勢，延伸到步足、關節結構仿生運用到生活中的設計，是一個很好的研究方向，值得深入探討。建議指導老師可尋求適當的仿生科學專家來進行深入的研究。

作品中仍有說明不足之處，建議改進如下，請作者參考：

1. 資料引用所提到中央研究院台灣生物多樣性網頁中只有名稱並沒有相關資料說明。陳世煌(2001)台灣常見蜘蛛圖鑑並無雙帶扁蠅虎的描述與紀錄。
2. 簡報中有提及仿生設計之應用實驗，以及3D列印，但報告無資料。
3. 將雙帶扁蠅虎步足的「關節膜」特徵，設計「膜狀矽膠片」應用在摺疊雨傘是本研究的重要特色。雖然將此膜狀矽膠片加入在雨傘中，但對於雨傘功能影響進行下一步的探討。此研究即戛然而止，甚是可惜。

作品簡報

校園蒼蠅虎~雙帶扁蠅虎 (*Menemerus bivittatus*)

的生態調查和步足仿生設計



組別：國小組
科別：生物科

前言：雙帶扁蠅虎可以在光滑表面上快速行走、蜷縮在隙縫中，引起我們想要根據步足的特殊構造去研發、應用。



圖1 雄蛛腹部（體背紋路Y字型黑斑）

研究問題：

生態調查和步足仿生

研究目的：

研究其捕食、求偶兩種不同姿勢步足之比較。

測試蜷縮與爬行的分析，延伸到步足、關節結構仿生設計。

問題假設：

雙帶扁蠅虎的習性、生態和步足是否具有特殊之處？

研究方法:

- 觀察雙帶扁蠅虎的步足結構。
- 蒐集有關蠅虎科步足的**國內、國外文獻**。
- **委託其他機構**協助以掃描式電子顯微鏡和光學顯微鏡拍攝蠅虎步足，顯微結構上有很大的不同。



圖2步足顯微構造

實驗器材:

傘骨	膜狀矽膠片	子母扣墊片

圖3 仿做蜷縮、關節膜，研究四種材質，目的是製作關節膜、傘骨

可替換式雨傘拐杖墊片	自製魔鬼沾墊片	迴紋針做爪鉤

圖4 仿做步足的爪鉤、爪齒和爪毛簇結構，研究不同材質，製作摩擦力大的墊片



圖5 雙帶扁蠅虎生活史



圖6：仿蜷縮、關節膜



圖7 仿爬行、附著力

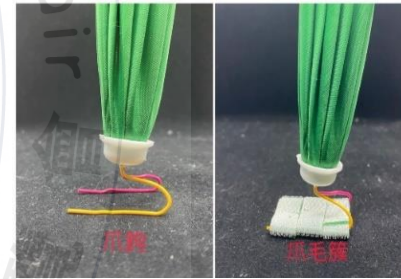


圖8 仿爬行、附著力

實驗設計

- 一、調查生態，確定研究品種、蛻皮、分齡。 二、研究捕食、求偶，姿勢與動物行為

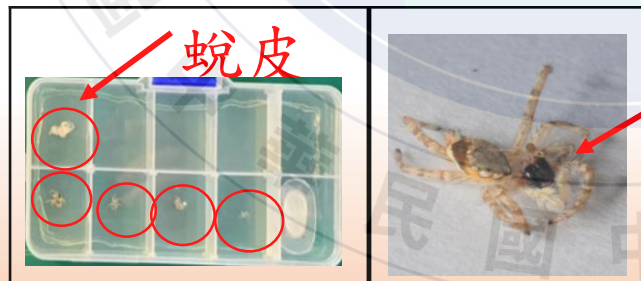


圖9蛻皮收集與測量

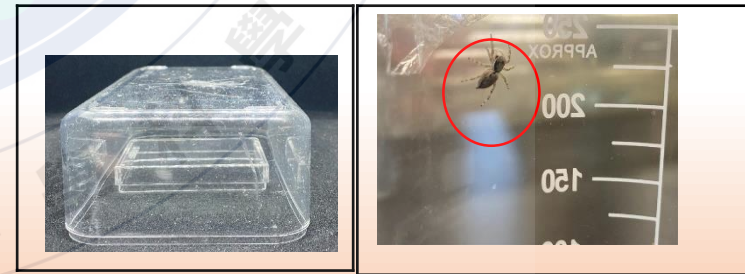


圖10 交配觀察盒

研究結果一

自我們經過兩年的生態調查與實驗室飼養，自行歸納發現大致的生活史如下：

各月平均最高溫、最低溫與蠅虎數量比較圖

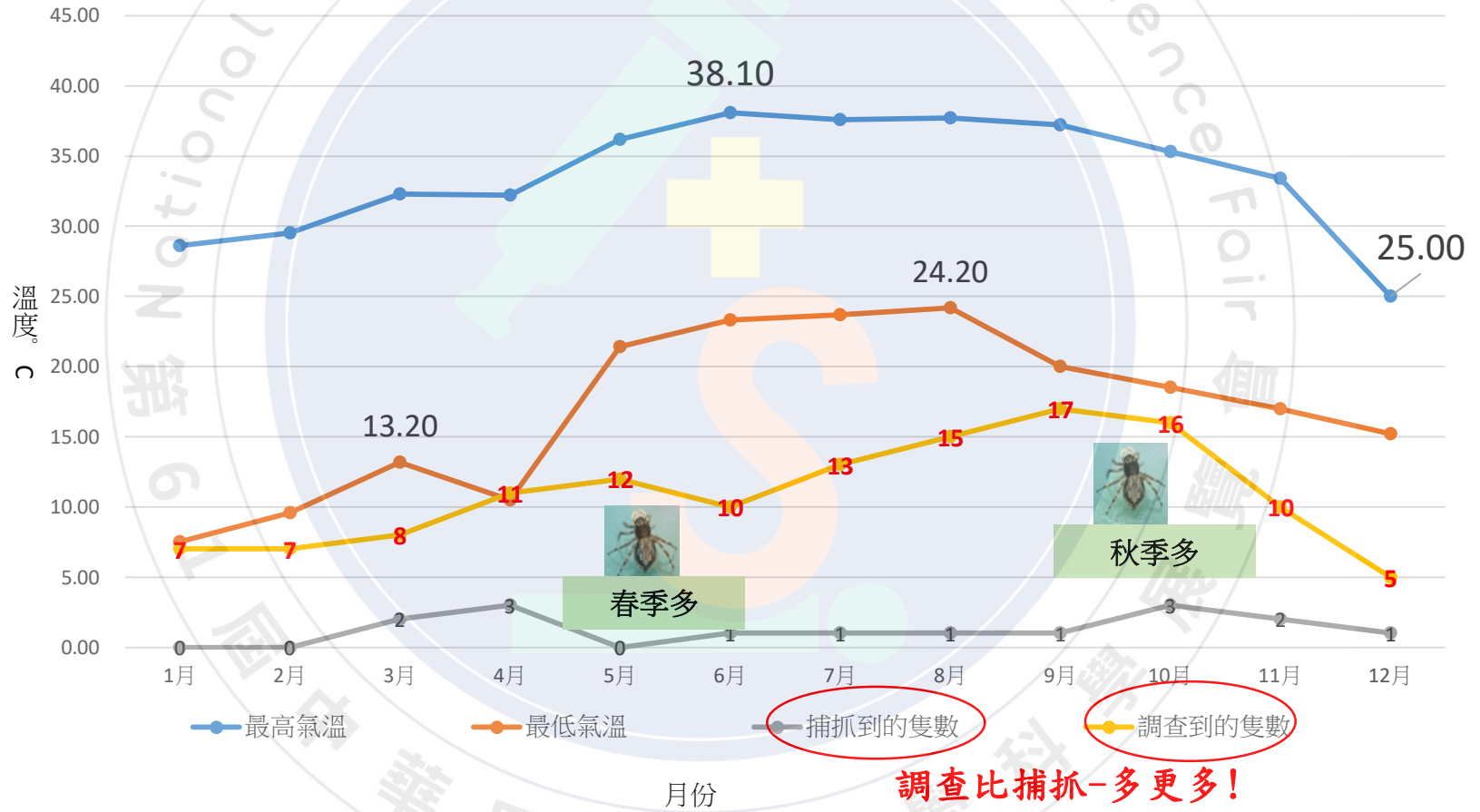


圖11：各月平均最高溫、最低溫與野外調查、捕抓蠅虎數量比較圖

研究結果二



圖12：蠅虎捕食之步足姿勢

我們發現：
蠅虎步足具有明顯蜷縮比例、捕抓與爬行的步足的特殊功能，
以此進行設計實驗。

捕食步足姿勢
步足看起來很複雜

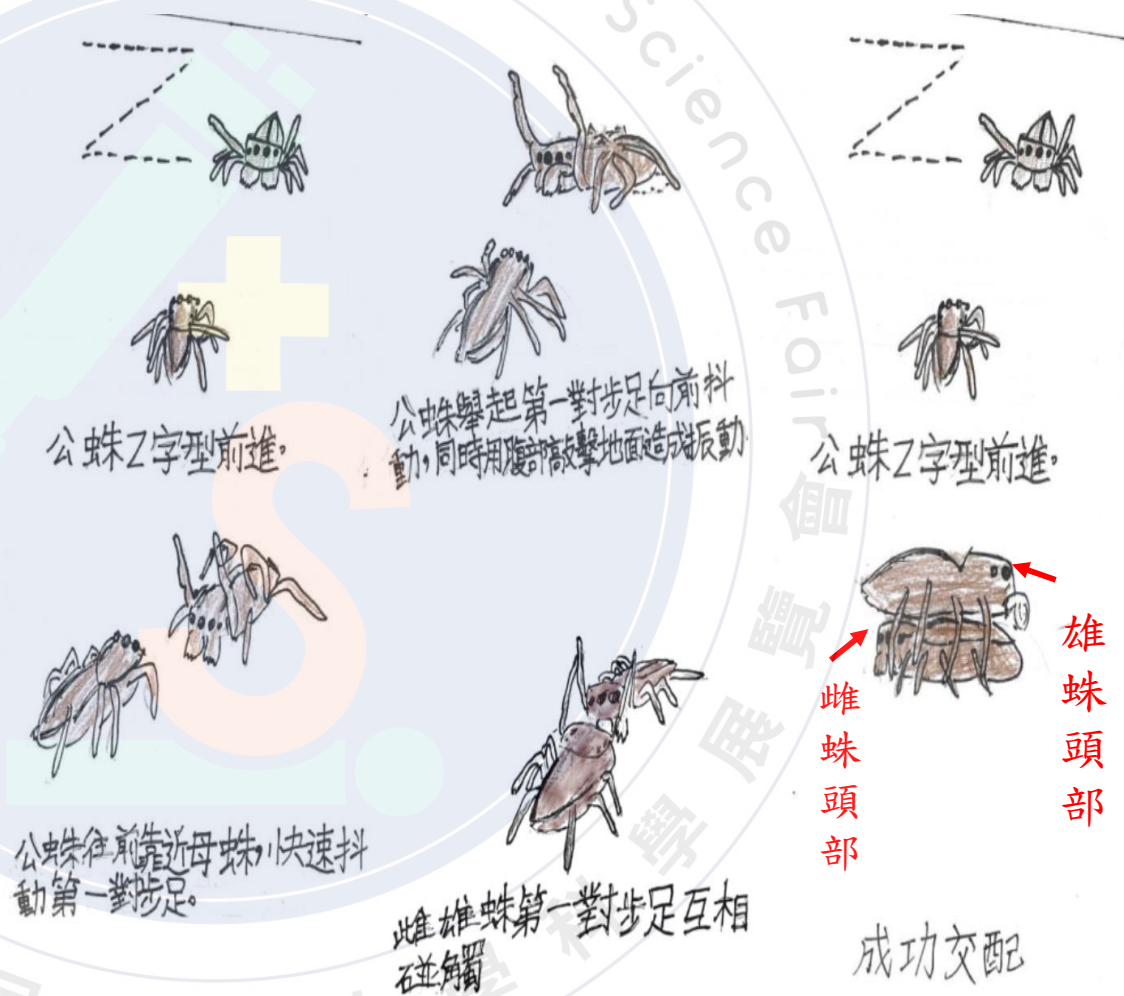


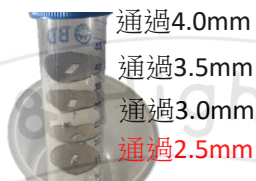
圖13：蠅虎求偶步足姿勢

蜷縮研究結果

蜘蛛連腳寬度 - 圓孔直徑

蜘蛛連腳寬度

依照這十隻雙帶扁蠅虎能鑽過最小的圓孔直徑，牠們蜷縮身體的比例分別為：



蜘蛛展足寬度 - 頭胸寬度
蜘蛛展足寬度

*100%

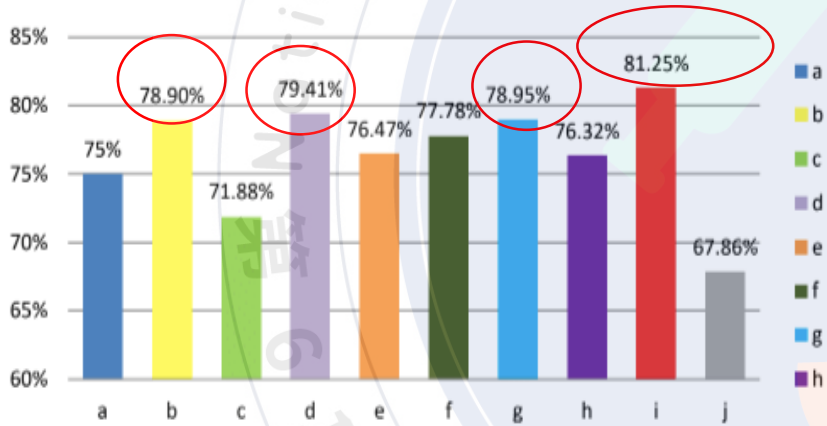


展足寬度

註：以蜘蛛第四對步足為基準

圖14 蜷縮公式示意圖

雙帶扁蠅虎身體蜷縮比例



與孔洞的比例

雙帶扁蠅虎蜷縮身體的比例統計圖

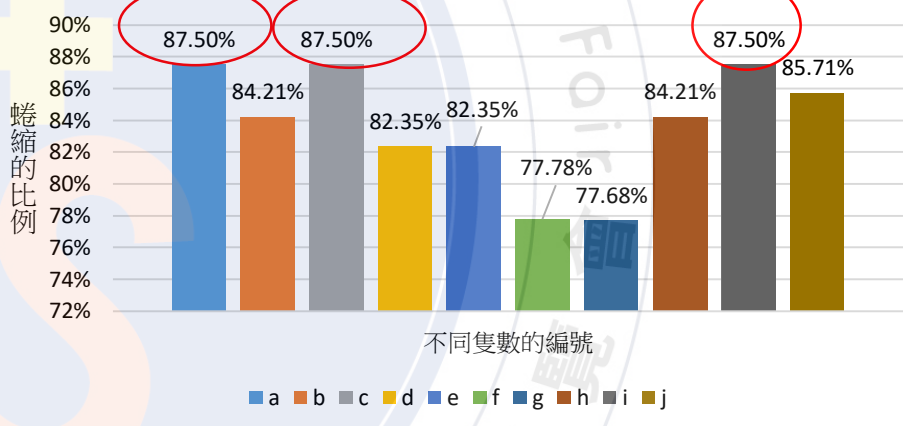


圖15 雙帶扁蠅虎蜷縮身體的比例長條圖

圖16 雙帶扁蠅虎蜷縮身體的比例長條圖

選取10隻雙帶扁蠅虎，平均身體蜷縮率為76.38%，可通過2.5mm。

選取10隻雙帶扁蠅虎，平均身體蜷縮率為83.2%，非常驚人。

我們利用不同的圓孔大小，**測試10隻蜘蛛能鑽過最小的洞有多小**，拿蜘蛛張開腳，全身最大的寬度來跟圓的直徑比較。

研究結果三之二

雙帶扁蠅虎在不同光滑面器皿的爬行分析

雙帶扁蠅虎爬行測試

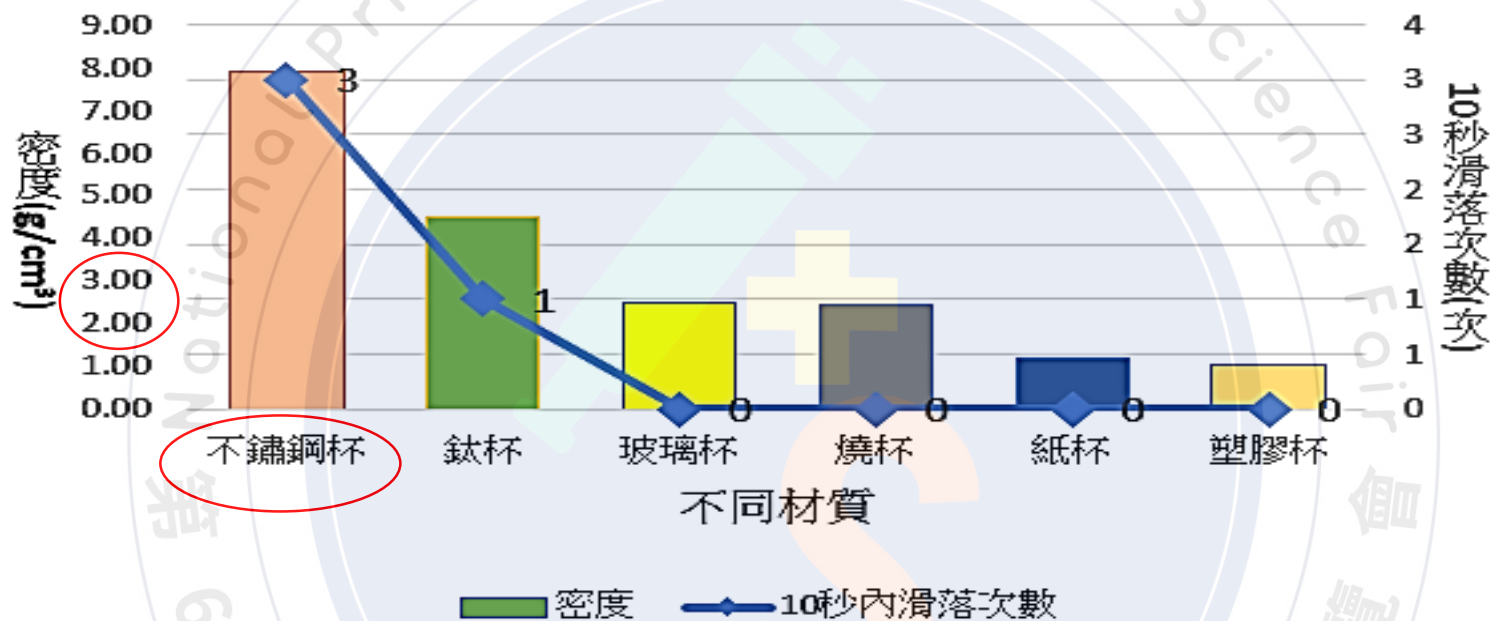


圖17 蠅虎步足爬行實驗

實驗結果：

1. 步足尖端的一對爪鉤、一對爪齒和爪毛簇能固定住密度2.50的光滑材質，不會掉落。
2. 步足在鈦杯、不鏽鋼杯攀爬，容易滑落；表示蠅虎步足尖端的一對爪鉤、一對爪齒和爪毛簇難固定住密度4.50的光滑材質上，在密度高的材質表面越容易掉落。

結論：我們調查到數量最多的月份，捕抓到43隻，捕食、求偶的動物行為，發現到步足驚人的蜷縮，後續實驗運用到老人的拐杖雨傘仿生！

研究結果四

觀察步足姿勢、蜷縮姿勢，延伸到步足、關節結構，以設計仿生產品。

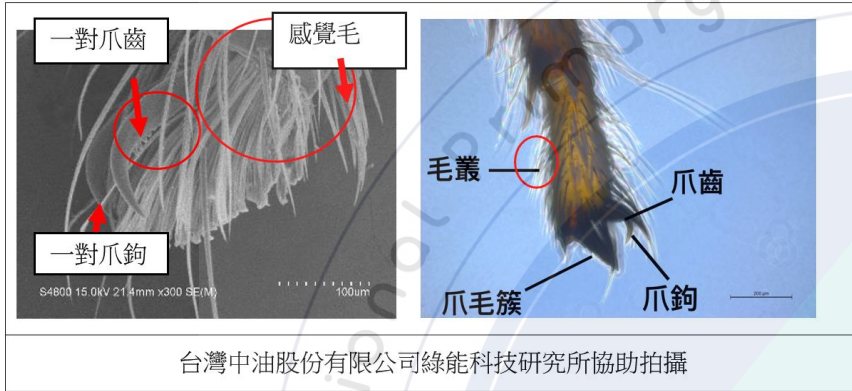


圖18 掃描式電子顯微鏡和光學顯微鏡觀察步足的结构觀察雙帶扁蠅虎步足顯微結構

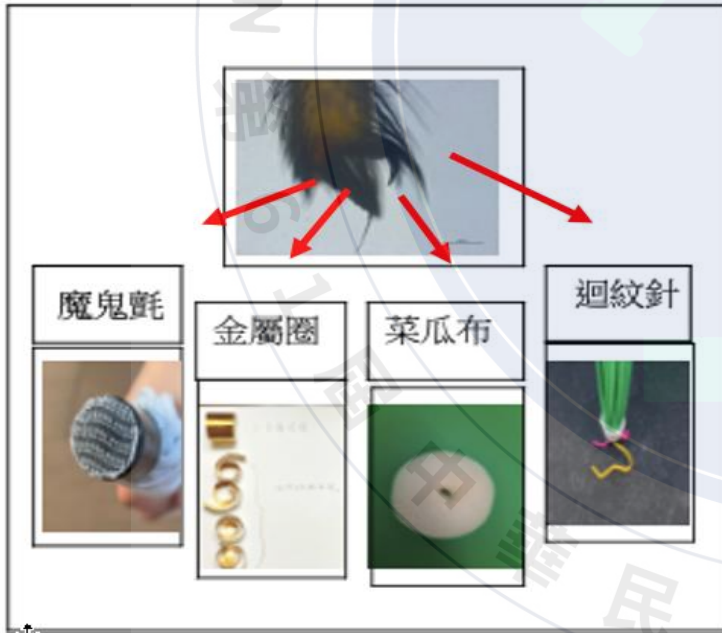


圖20 觀察攀爬姿勢，延伸到前附足構造，仿生在雨傘拐杖傘頂止滑墊上。

傘骨關節的張、縮、穩、彈
(結合雙帶扁蠅虎步足結構)

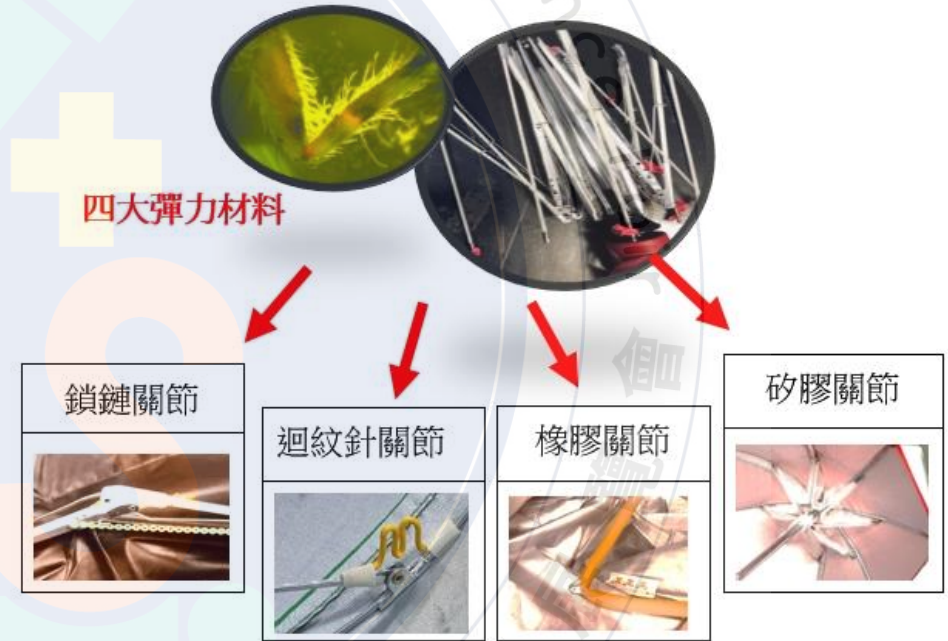


圖19 觀察蜷縮姿勢，延伸到步足、關節結構，仿生在傘骨上。

初步測試結果

將DIY設計仿生產品，初步進行測試。



圖21 初步風力測試，仿生效果。
(風速可控制在三段)



圖 22 初步摩擦力測試，長輩使用。



圖 25 仿做毛簇、爪鉤。

在仿生設計部分我們也想到了利用蠅虎剛毛的特性構造，應用設計在雨傘的另一個功能，協助讓老人使用時在行走上，能更穩固。

後續再進行更精準的實驗數據與結果。

結論

一、調查校園蠅虎生態環境

發現：在實驗室的觀察盒裡，2.5mm的夾縫中，或是板子底下。支持習性不同的假設。

二、研究捕食、求偶，兩種不同步足姿勢比較。

發現：捕食步足：四個動作。求偶：雄蛛以六個步驟。支持步足具有特殊的動物行為。

三、測試蜷縮的大小和攀爬能力

發現：可以縮小到原本身體面積約三分之一，能穿越直徑2.5mm。爪鉤、爪齒和爪毛簇能使應乎在密度2.5的光滑材質上行走。支持蠅虎步足擁有高科技「配備」的假設。

四、觀察步足姿勢、蜷縮姿勢，延伸到步足、關節結構仿生運用到生活中的設計。

發現：將研究運用在設計「膜狀矽膠片」應用在摺疊雨傘上，可以增加雨傘的附著力。

未來展望

- 一、能深入研究步足構造，延伸設計生活中的**創意仿生產品**。
- 二、能深入研究步足尖端的爪鉤、爪齒和爪毛簇。

前附節：與防滑特性做結合，將來可以更精準的實驗數據結果，進行不斷的修正。

- 三、能深入研究蜘蛛絲。

懸垂絲與纏絲：期待能再深入研究，延伸生活中的創意仿生。

- 四、能深入研究步足蜷縮。

關節膜：期待能再深入研究，延伸設計生活中的創意仿生。

參考資料

- 1.中央研究院生物多樣性研究中心（2000）。雙帶扁蠅虎
取自<https://www.tbn.org.tw/taxa/363e7721-0c73-4d47-845a-0439bed388d7>
- 2.中央氣象局觀測資料查詢（2020）。（2020年報表）。取自<https://e-service.cwb.gov.tw/HistoryDataQuery/index.jsp>
- 3.陳世煌(2001)。台灣常見蜘蛛圖鑑。台北市:行政院農委會。
4. Eggs, B., Wolf, J. O., Kuhn-Nentwig, L., Gorb, S. N. & Nentwig, W. (2015). Hunting without a web: How Lycosoid spiders subdue their prey. *International journal of behavioural biology*,121. 1-12.
5. Hill, D. E., (2010). Targeted jumps by salticid spiders (Araneae: Salticidae: Phidippus). *Peckhamia* 84.1, 1-35.
6. Gottler, C., Elflein, K., Siegwart, R. & Sitti, M. (2021). Spider Origami: Folding principle of jumping spider leg joints for Bioinspired Fluidic Actuators. *Adv. Sci.* 2021, 2003890.

創意仿生產品

雨傘拐杖

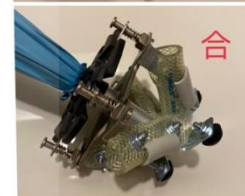
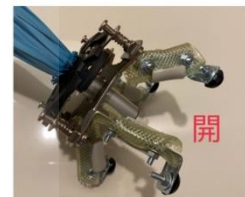
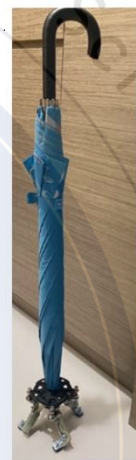


圖 23 初步改成可拆式，方便實驗拆、裝。