

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

030317

跳蛛體型大小與跳遠能力、距離判斷之關係探討

學校名稱： 臺東縣立寶桑國民中學

作者： 國一 潘羅芷涵 國一 李姿璇 國一 周軒綾	指導老師： 吳若嘉 游家豪
--	-----------------------------

關鍵詞： 跳蛛、蠅虎、跳躍距離

摘要

蠅虎科 (Salticidae) 以其優異的跳躍撲食能力而得名。然而牠們究竟能跳多遠？其跳躍距離與身體各項形值 (體長、體寬、腳長等) 之間是否有關聯，則一直缺乏佐證資料。本研究蒐集了安德遜蠅虎 (*Hasarius adansoni*)、拉邁宇跳蛛 (*Cosmophasis lami*) 和彼得條斑蠅虎 (*Plexippus petersi*) 等三種跳蛛，設計了跳台實驗，測試牠們究竟能夠跳得多準和多遠，並測量每一隻跳蛛的身體形值，想找出影響跳躍距離最多的形值項目為何。結果顯示，三種跳蛛的最遠跳躍距離確實存在差異，體型較大的安德遜蠅虎和彼得條斑蠅虎，最遠可跳出體長 21~25 倍的距離，跳遠能力顯著優於體型較小的拉邁宇跳蛛 (體長 17.5 倍)。另外本次實驗也觀察到，在有充裕空間的情況下，跳蛛並不傾向精準地測量距離並進行跳躍。

壹、研究動機

在生活周遭常常可以看到一種小型的蜘蛛以跳躍的方式移動，常常在注意到牠時便蹦的一下跳到他處因而消失在眼前，透過老師的介紹才知道原來這種小型蜘蛛叫做跳蛛 (jumping spider) 又稱蠅虎，在分類學上屬於節肢動物門 (Arthropoda)、蛛形綱 (Arachnida)、蛛形目 (Araneae)、新蛛亞目 (Araneomorphae) 蠅虎科 (Salticidae)，體型雖小，大多 3-10 mm，但跳躍距離可長達十幾公分 (參考文獻 1)。不禁思考普通人類的立定跳遠極限是自己體長多一些而已，然而跳蛛卻可以跳出自己身長數十倍的距離，於是便想對跳蛛的跳躍能力進行一番地探究。

跳躍是一種獨特的動物運動形式，與地面接觸的腿快速伸展為抵抗重力的空中平移動作提供了足夠的力量。就像人類的跳躍距離或許與身高、體重、腳長有關，我們設想蠅虎的最大跳躍距離應該會與體型有關。只是我們並未找到太多相關研究，老師幫我們找到一些國外研究得到蠅虎的跳躍距離大約為體長的 4-10 倍 (參考文獻 2、3、4)，但這顯然與我們觀察到的跳蛛跳躍行為不太相符。

在做前人文獻探討時，我們也得知安德遜蠅虎 (*Hasarius adansoni*) 的極限跳躍距離為 7 cm，且最加跳躍瞄準距離為 2-3 cm (參考文獻 5)。而在另一個研究中得知安德遜蠅虎在進行撲食時大多會選擇距離獵物 1.5-2 cm 的距離內進行較為精準跳躍 (參考文獻 6，但此結果不在文獻中，而是研究者與我們的經驗與數據分享)。

所以，我們在此研究中訂出了以下研究目的：

- 一、由於在進行文獻搜尋時並未找到對於跳蛛最遠跳躍距離的行為研究，因此我們想試著測試出不同種跳蛛在進行一般移動性跳躍 (非捕食跳躍) 的最遠距離，以及與體型之間是否有關係。
- 二、探究跳蛛進行一般移動性跳躍時是否能夠精準測量出距離並進行跳躍。

貳、研究設備及器材

一、捕捉跳蛛

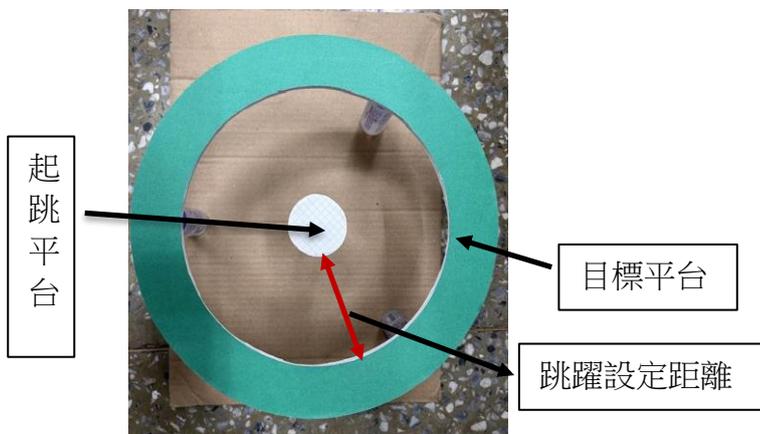
根據研究目的，我們需要捕捉數種不同種的跳蛛，針對棲息在不同環境的跳蛛需要使用不同的捕捉方式（參考文獻 7）。針對較容易出現在牆壁、樓道間等人工建物當中的跳蛛，我們會使用目視捕捉法，當用肉眼搜索到時，使用手持樣本瓶後將牠們採集起來，以此方法捉到的種類為安德遜蠅虎（*Hasarius adansoni*）、彼得條斑蠅虎（*Plexippus petersi*）。針對容易出現在低矮灌木叢枝條之間的跳蛛，會使用擊落法（beating tray）的方式進行蒐集，用力敲打灌木叢枝條後，再用手持樣本瓶將之捕捉起來，以此方式捕捉到的種類為拉邁宇跳蛛（*Cosmophasis lami*）、彼得條斑蠅虎（*Plexippus petersi*）。

二、飼養跳蛛

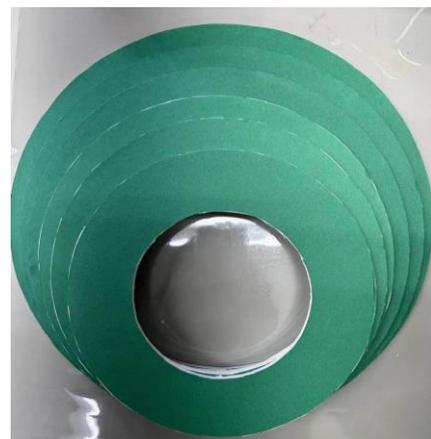
因為從野外蒐集來的跳蛛不一定能馬上完成實驗，可能有需要飼養一段時間的需要。我們選用透明的圓柱型塑膠盒（直徑 10 cm，高度 6 cm）進行飼養，放置於室溫、日夜時間正常循環無任何特別調整的實驗室內，使用果蠅作為餵食餌料，餵食頻率大約 3~4 天給予 3 隻果蠅或蚊子，還會在盒內放一小塊沾了水的衛生紙。

三、製作實驗箱

我們參考了兩篇研究（參考文獻 2、6）並進行改良，製作兩個平台：起跳平台與目標平台（下圖一所示）。起跳平台可隨意移動，平台高度是 11.7 的圓柱膠水（雄獅合成糊 50 c.c.），上面貼半徑 2.5 公分的圓形珍珠板，其厚度為 0.5 公分，總高度為 12.2 公分。目標平台與起跳平台為同心圓，目標平台的面積會跟據起跳平台的間距而有所不同，但寬度都固定為 4 公分。目標平台上面黏了綠色的丹迪紙，讓跳蛛有較高的起跳意願。我們會以直角尺確定同心圓個弧度處的起跳平台至目標平台距離相等，我們設定了六種跳躍距離，分別為 3、4、5、6、7、8 公分（下圖二所示）。



▲ 圖一、實驗跳台照



▲ 圖二、目標平台

參、研究過程及方法

1、 實驗操作

每隻跳蛛每天只做一種距離的實驗，而每個距離實驗以五次跳躍為上限，若五次跳躍內未成功跳到目標平台，或五分鐘內沒有跳躍，視此距離實驗為失敗。將起跳平台放到目標平台中間，跳台間距為三至八公分，然後將攝影用手機架於兩個平台正上方，使兩平台完全入鏡並讓白色起跳平台置於畫面正中間。將跳蛛放置於起跳平台後馬上開始錄影（圖三所示）。

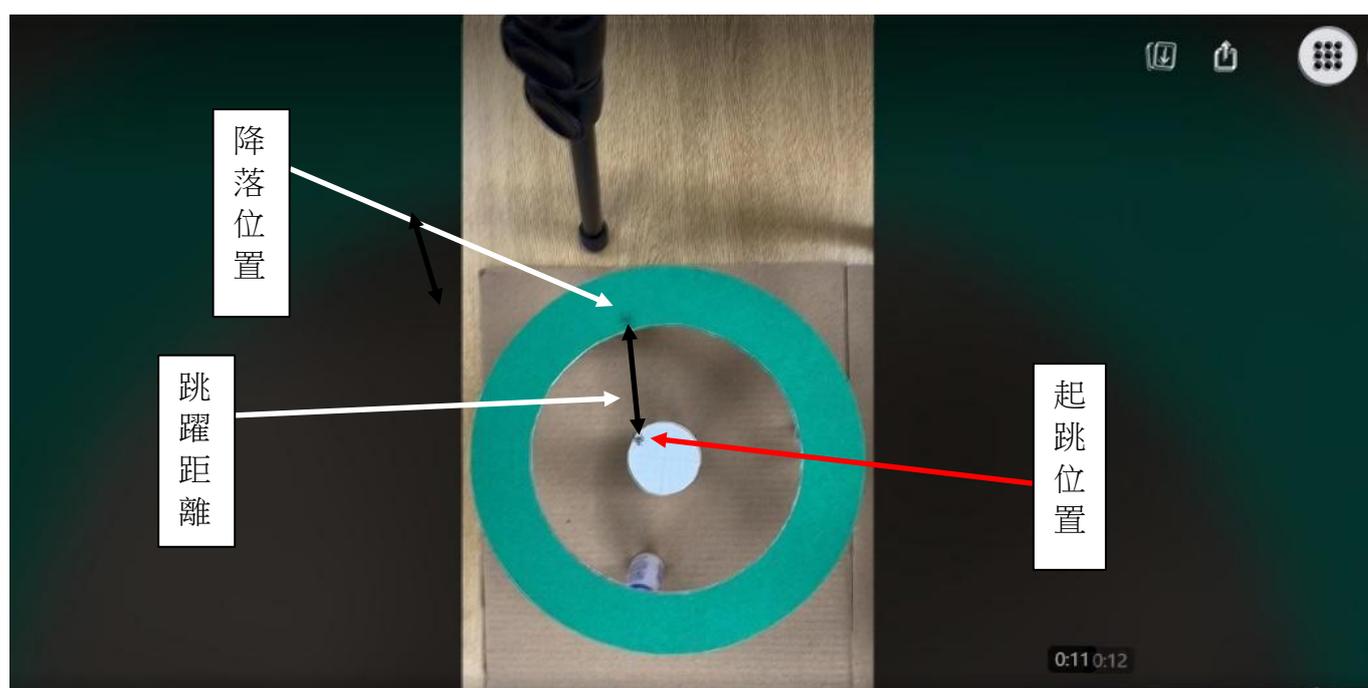


▲ 圖三、實驗架設

2、 體型與跳躍距離量測

跳蛛的體型測量包含了體長（頭胸部前中眼的中間到腹部的最尾端）、體寬（頭胸部的最寬處）和第三、四對步足中的最長足長。我們將跳蛛放在貼有 1 mm 方格紙的培養皿中，使用單眼相機搭配 Sony Minolta AF 100mm F2.8 Macro D 進行 1:1 大小的微距拍攝，之後使用 ImageJ 軟體，將 1 mm 方格作為比例尺進行量測，便可得到體長和體寬數據。跳躍測試實驗結束後，便將跳蛛製作成標本，再進行微距拍攝，得到最長足長數據。

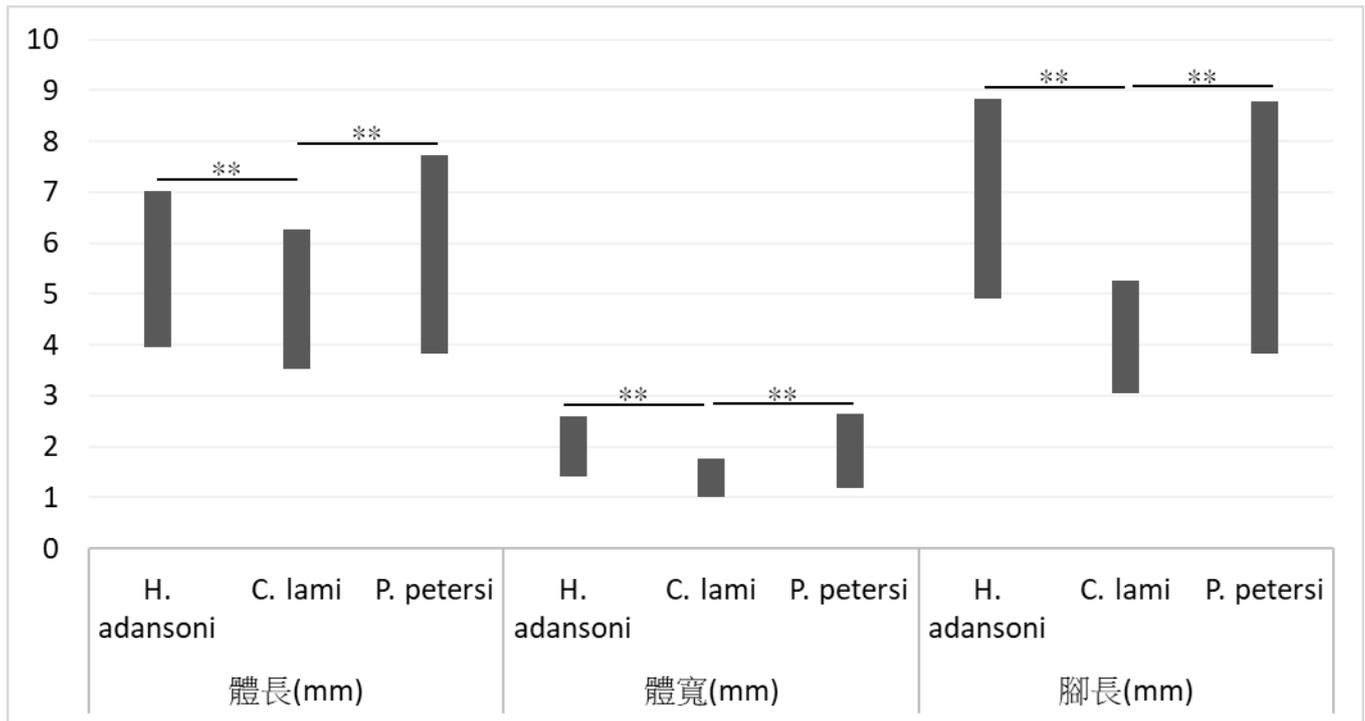
使用攝影用手機進行實驗錄影之後，將跳蛛起跳與落地的瞬間畫面截圖，使用 Startrails 軟體進行疊圖後，以跳蛛頭胸部與腹部的交界處作為量測基準點（參考文獻 2），接著使用 ImageJ 軟體進行跳躍距離的量測。（如下圖四所示，起跳平台上貼有 5 mm 方格紙作為比例尺）



▲ 圖四、跳躍距離量測示意圖

肆、研究結果

一、跳蛛體型測量



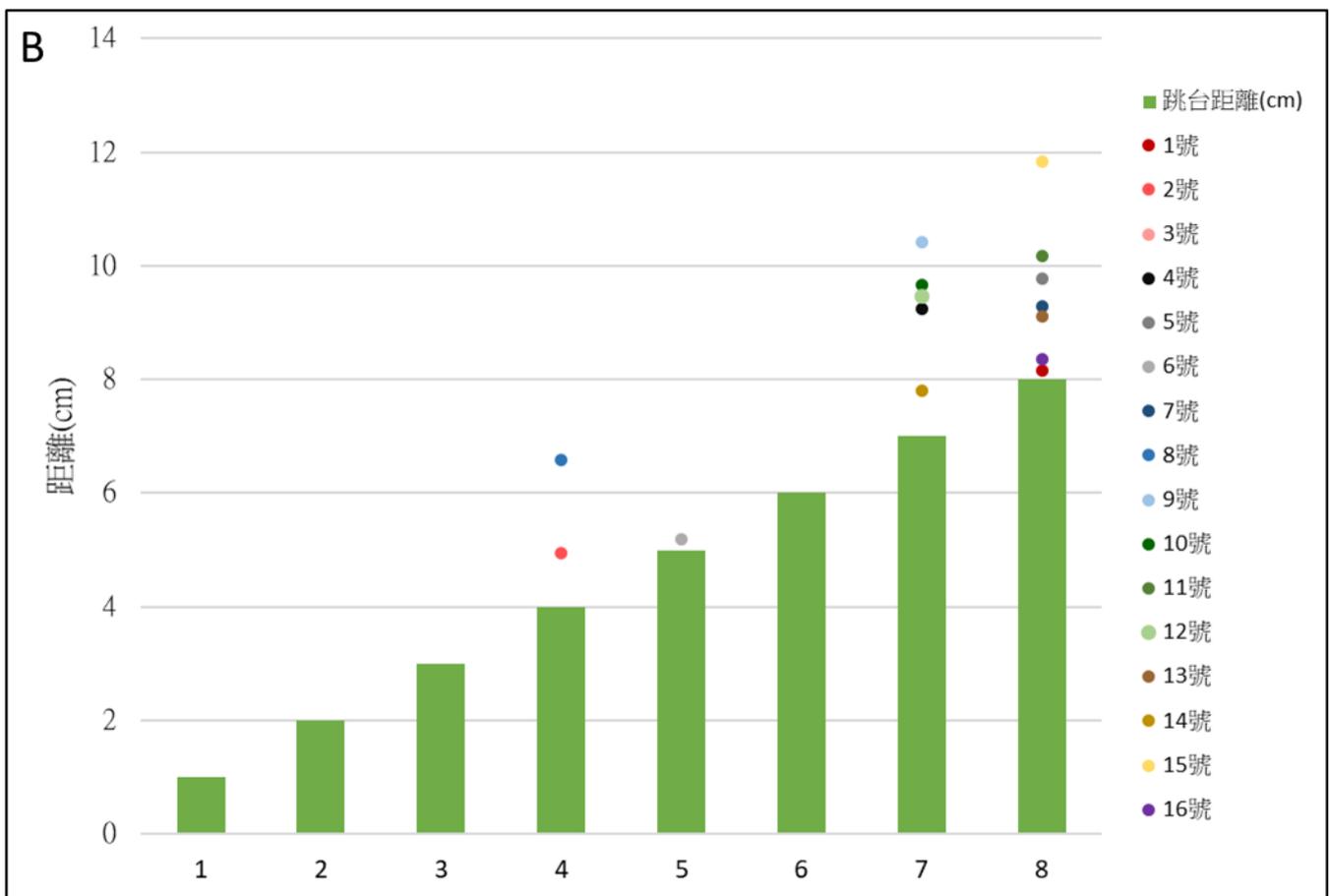
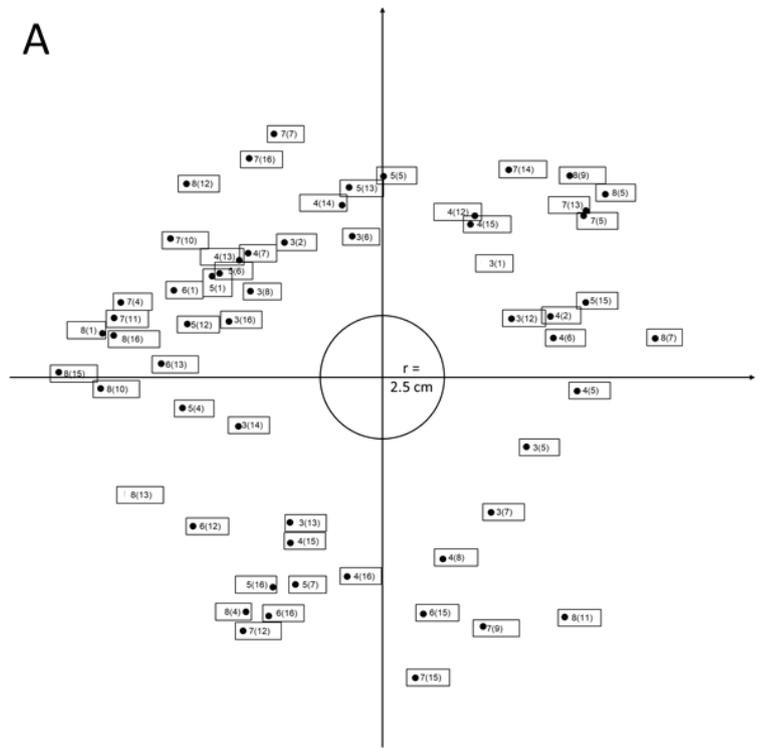
▲ 圖五、跳蛛體型測量結果。灰色長條代表所有個體體型測量數值的全距（*表單尾顯著、**表雙尾顯著）。

本次實驗總共使用到 38 隻跳蛛，分別為 16 隻安德遜蠅虎、12 隻拉邁宇跳蛛和 10 隻彼得條斑蠅虎，公、母皆有。安德遜蠅虎的體長介於 4.2 - 6.8 mm，拉邁宇跳蛛的體長介於 3.8 - 5.3 mm，彼得條斑蠅虎的體長介於 4.1 - 7.5 mm；安德遜蠅虎的體寬介於 1.7 - 2.4 mm，拉邁宇跳蛛的體寬介於 1.25 - 1.52 mm，彼得條斑蠅虎的體寬介於 1.4 - 2.4 mm；安德遜蠅虎的腳長介於 5.1 - 8.6 mm，拉邁宇跳蛛的腳長介於 3.3 - 5 mm，彼得條斑蠅虎的腳長介於 4 - 8.6 mm。使用 Execl 的 t 檢定得到安德遜蠅虎和彼得條斑蠅虎的所有身體形值皆無顯著差異，兩者的各項數值皆顯著大於拉邁宇跳蛛。（圖五，詳細照片與測量數據可看附件一~三）

二、跳躍實驗結果

(一) 安德遜蠅虎跳躍結果

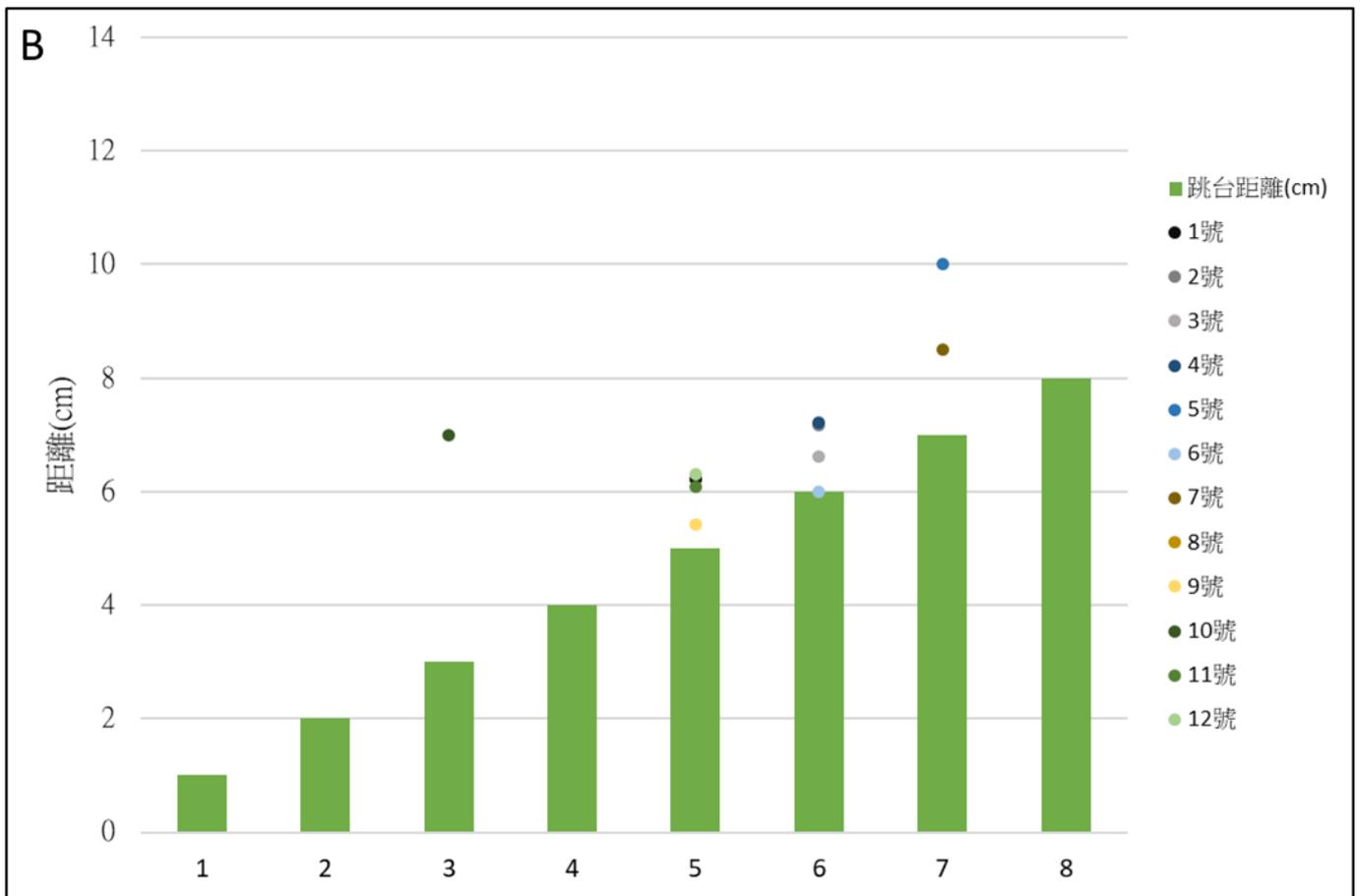
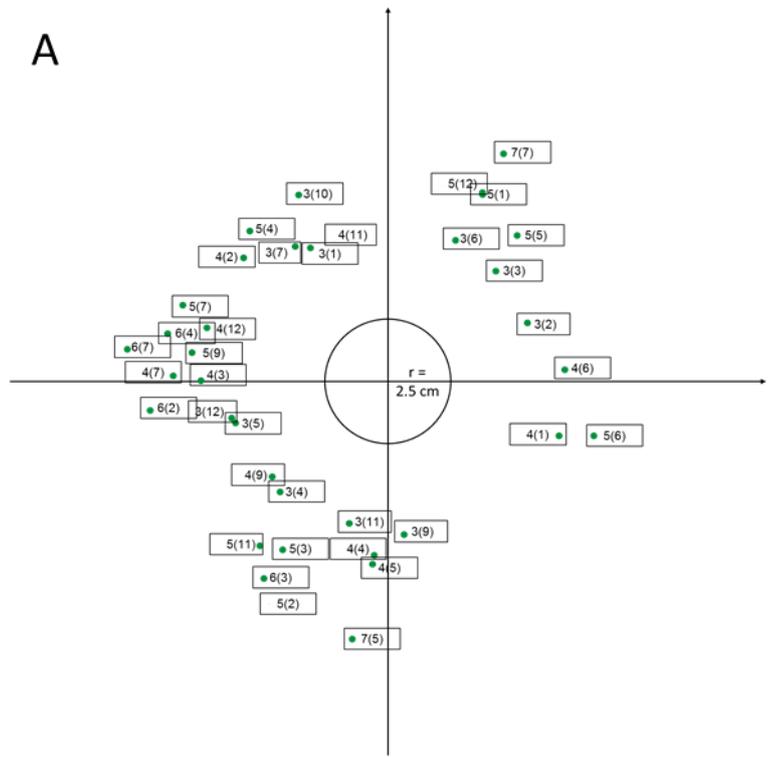
讓 16 隻安德遜蠅虎嘗試跳間距 4~8 公分跳台，所得到的所有結果如圖六 A，所有的跳躍結果顯示安德遜蠅虎的跳躍選擇沒有方向偏好。我們將每一隻跳蛛所嘗試的最遠跳躍距離整理成圖六 B，可看出大多數個體都願意嘗試跳 7~8 公分的跳台，且最遠跳躍距離可達 10~12 公分（詳細跳躍數據參閱附件四），不過跳比較遠的並不是體型較大的個體。



▲ 圖六、安德遜蠅虎全個體的跳躍結果。圖 A 為所有個體所有跳躍嘗試的結果分布座標圖，數值為跳台距離（跳蛛編號）。圖 B 為每隻個體最遠跳躍距離（色點）與嘗試跳躍之跳台間距（綠色長條）的關係圖。

(二) 拉邁宇跳蛛跳躍實驗結果

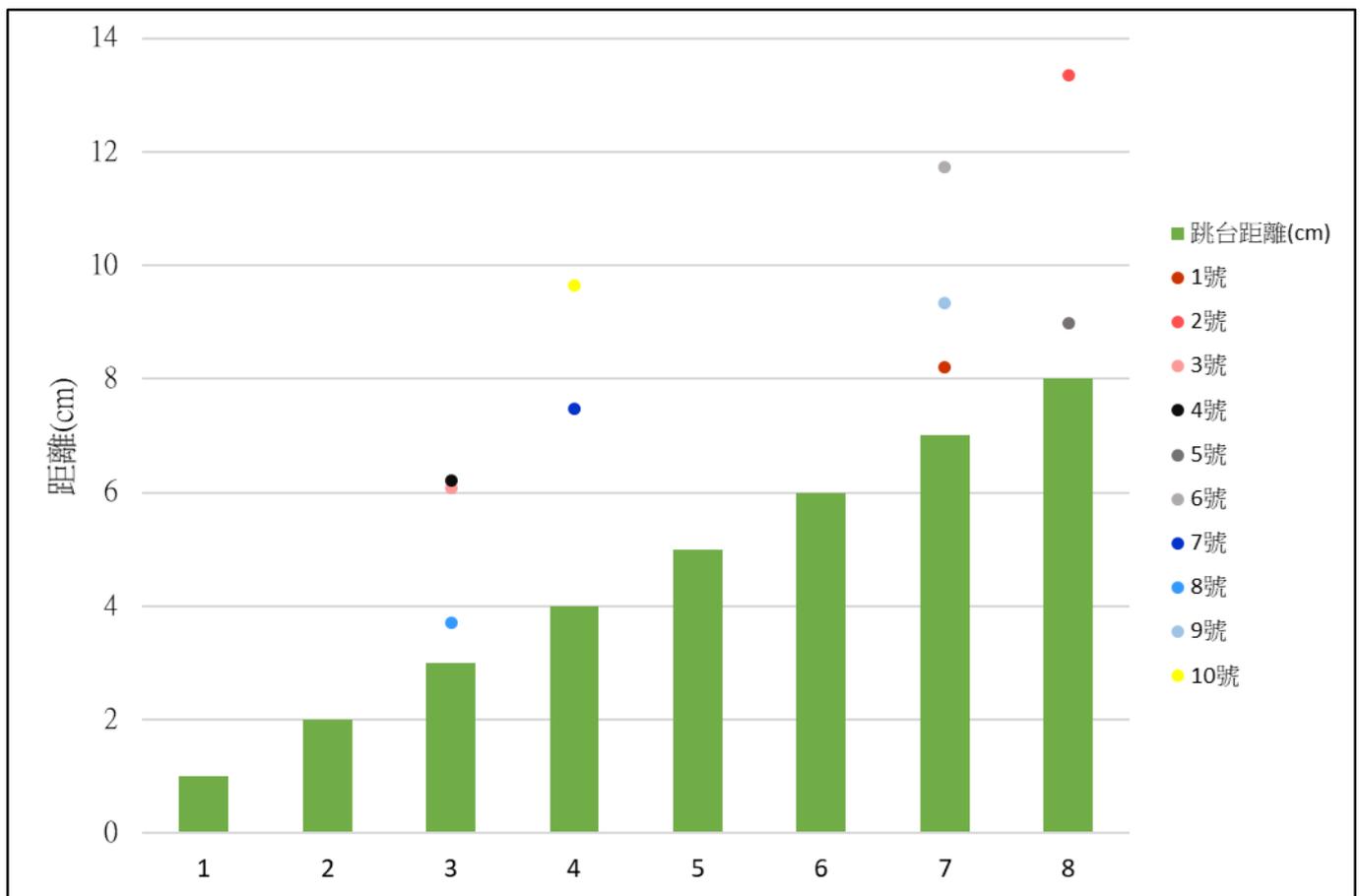
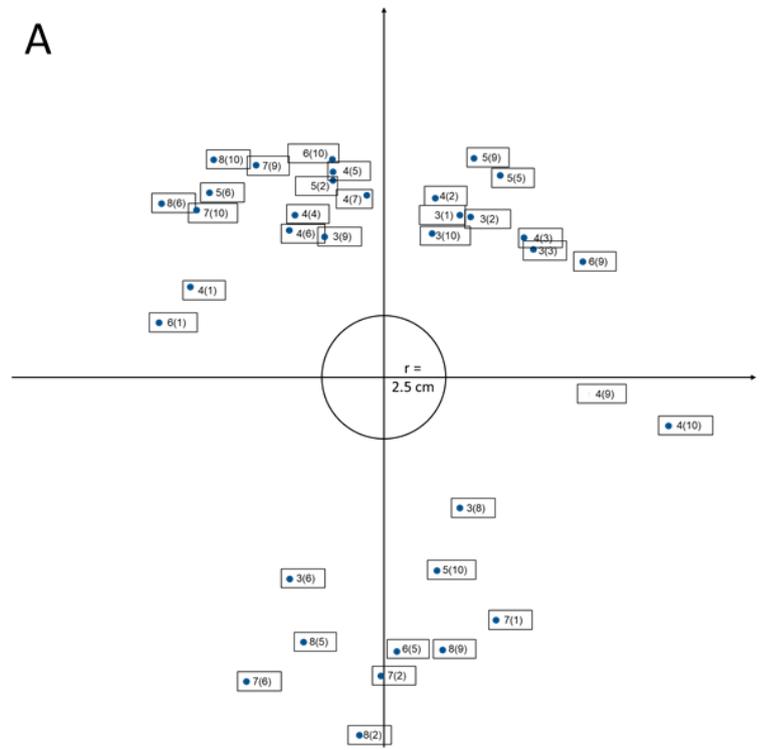
讓 12 隻拉邁宇跳蛛嘗試跳間距 3~7 公分跳台，所得到的所有結果如圖七 A，所有的跳躍結果顯示拉邁宇跳蛛的跳躍選擇比較不喜歡往第四象限的方向移動。將每一隻拉邁宇跳蛛所嘗試的最遠跳躍距離整理成圖七 B，可看出大多個體都願意嘗試跳 5~7 公分的跳台（但都不願意嘗試 8 公分跳台），且最遠跳躍距離大多為 7~9 公分，跳最遠的一隻個體有達到 10 公分。（詳細跳躍數據參閱附件四）



▲ 圖七、拉邁宇跳蛛全個體的跳躍結果。圖 A 為所有個體所有跳躍嘗試的結果分布座標圖，數值為跳台距離（跳蛛編號）。圖 B 為每隻個體最遠跳躍距離（色點）與嘗試跳躍之跳台間距（綠色長條）的關係圖。

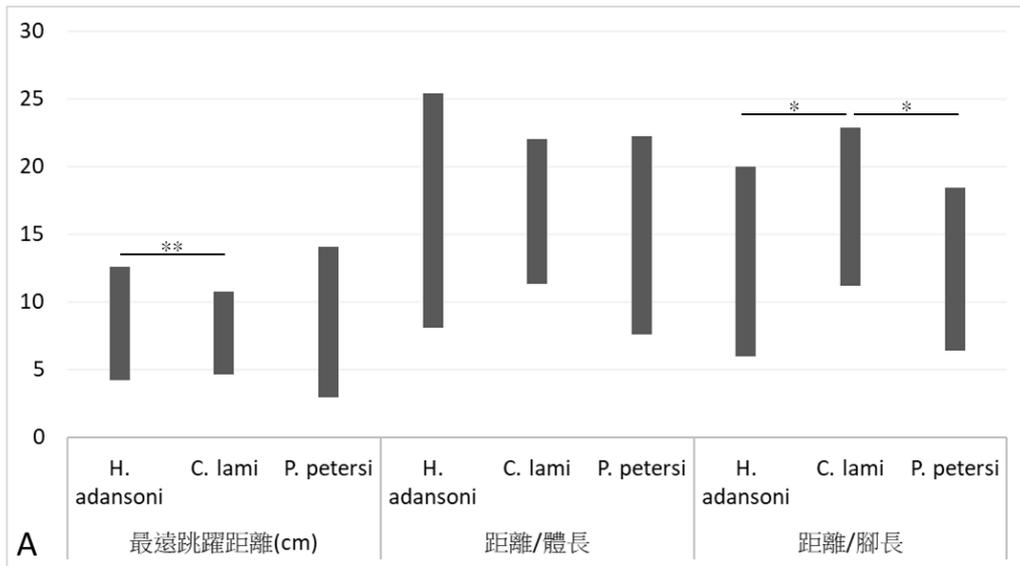
(三) 彼得條斑蠅虎跳躍實驗結果

讓 10 隻彼得條斑蠅虎嘗試跳間距 3~8 公分跳台，所得到的所有結果如圖八 A，所有的跳躍結果顯示安德遜蠅虎的跳躍選擇似乎有些微偏好往第一、二象限的方向移動。我們將每一隻跳蛛所嘗試的最遠跳躍距離整理成圖八 B，發現有兩極化的現象，有些個體願意嘗試跳較遠距離的跳台，但有些則只願意嘗試較近的距離，不過跳最遠的個體是我們採集到體型最大的個體，可跳出接近 13.5 公分的距離。（詳細跳躍數據參閱附件四）



▲ 圖八、彼得條斑蠅虎全個體的跳躍結果。圖 A 為所有個體所有跳躍嘗試的結果分布座標圖，數值為跳台距離（跳蛛編號）。圖 B 為每隻個體最遠跳躍距離（色點）與嘗試跳躍之跳台間距（綠色長條）的關係圖。

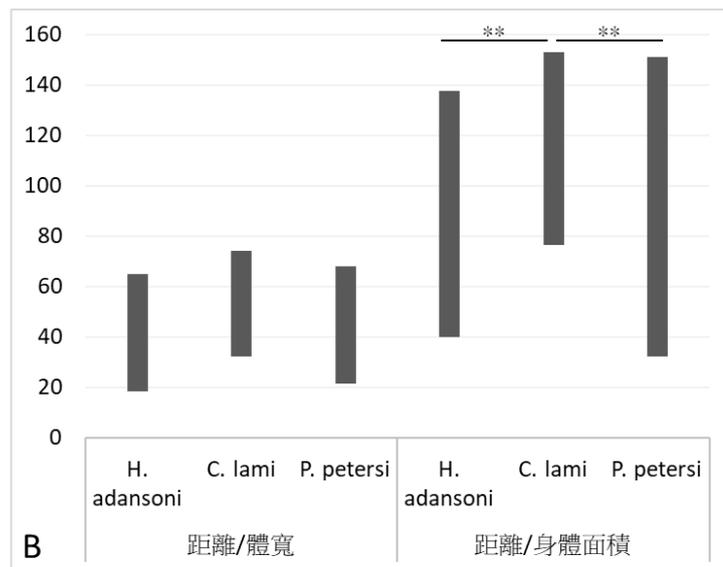
三、最遠跳躍距離與體型的關係



▲ 圖九 A 三種蠅虎的最遠跳躍距離、最遠跳躍距離除以體長、最遠跳躍距離除以腳長。

▼ 圖九 B 三種蠅虎的最遠跳躍距離除以體寬、最遠跳躍距離除以身體面積(體長*體寬)。

備註 1：灰色長條表示數值範圍。備註 2：*表單尾顯著、**表雙尾顯著。



三種跳蛛的所有個體最遠跳躍距離的範圍(圖九 A)分別是，安德遜蠅虎介於 4.9 – 11.9 cm，拉邁宇跳蛛介於 5.4 – 10.1 cm，彼得條斑蠅虎介於 3.7 – 13.4 cm，使用 t 檢定得出安德遜蠅虎和拉邁宇跳蛛的結果有顯著差異。

我們最先猜測跳躍距離會與體長有關，安德遜蠅虎能夠跳出體長 8 - 25 倍的距離；拉邁宇跳蛛能夠跳出體長 12 - 17.5 倍的距離；彼得條斑蠅虎能夠跳出體長 8 – 21.5 倍的距離，三者之間都沒有顯著差異。我們第二猜測跳躍距

離會與第三、第四對步足的長度有關，安德遜 6.7 – 19.3；拉邁宇 11.9 - 22.1；彼得條斑 7.1 – 17.7，統計比較結果是有得到顯著差異(單尾顯著，雙尾不顯著)，如圖九 A 所示。

若是考量體寬，安德遜 22.4 – 61.1；拉邁宇 36 - 70；彼得條斑 25.6 – 64，三者之間都沒有顯著差異。考量身體面積(體長*體寬)，安德遜 43.9 – 133.8；拉邁宇 80.5 - 149；彼得條斑 36 – 147，比較安德遜對拉邁宇、拉邁宇對彼得條斑，都有得到顯著差異，如圖九 B 所示。

圖十一、(A)三種蠅虎的最遠跳躍距離、最遠跳躍距離除以體長、最遠跳躍距離除以足長。灰色長條代表全距。(B)三種蠅虎的最遠跳躍距離除以體寬、最遠跳躍距離除以身體面積(體長*體寬)。灰色長條代表全距。

伍、討論

- 1、我們的實驗結果顯示了三種體型大小不同的跳蛛，可大略區分成體型比較大（安德遜和彼得條斑）和體型比較小的拉邁宇跳蛛，體型大與小之間約略差 40%。在最遠跳躍距離上確實存在著差異，且與體型大小是有關連的，但不一定單與體長或腳長有關，而是跟整體體型（體長*體寬）有較大的關聯性（圖九）。
- 2、我們想在此研究中測試出三種跳蛛在進行一般移動性跳躍時的跳躍極限，安德遜蠅虎可跳出體長 25 倍的距離，拉邁宇跳蛛可跳出體長 17.5 倍的距離，彼得條斑蠅虎可跳出體長 21.5 倍的距離。但可以說體長越長的跳蛛就能夠跳得越遠嗎？從國外文獻僅作出了 4 - 10 倍體長的跳躍距離（參考文獻 2、3、4），與我們的結果差異甚大，可能是因為他們所使用的跳蛛是體型大約 10 mm 的較大型跳蛛，所以體型越大是否能夠跳得越遠？尚需更多實驗來作確認。
- 3、而我們的另一個研究目的，跳蛛在不同跳躍距離下是否能夠精準偵測距離並瞄準？若是將精準偵測距離定義為 1 cm 誤差以內的話，從圖六、七、八的結果來看，所有跳蛛總共嘗試了 128 次跳躍，只有 16 次的跳躍超出我們設定的誤差範圍內，機率為 36%，不同種跳蛛的情況不同，安德遜 33%（19/58）、拉邁宇 53%（20/36）、彼得條斑 23%（8/34）。顯然在我們的實驗情況中，跳蛛並不具精準偵測距離進行跳躍的能力。跳台距離在 1 和 2 公分時，有些跳蛛更是直接選擇爬過去而非跳躍，並沒有看到短距離所以跳躍更加精準的情況產生（參考文獻 6）。我們猜想可能是目標跳台設置的面積較大，雖然可以讓跳蛛有較高意願去嘗試跳躍（原本設置小跳台，跳蛛看似較不太敢進行跳躍），但也同時讓牠們有更充裕的空間進行移動式跳躍，而與撲食性跳躍需要精準偵測距離的情況大不相同。
- 4、在研究初期我們預期可以蒐集到多種跳蛛，但最後只有蒐集到三種，少了在前人資料中（參考文獻 8），我們校園中應該會有的雙帶扁蠅虎（*Menemerus bivittatus*）和眼鏡黑條蠅虎（*Phintella versicolor*），若都有蒐集到的話，便可對更多不同屬和不同種跳蛛進行比較。而且，若是可以再蒐集更多個體進行實驗得到更多數據來進行統計的話，結論會更有參考性（但相較於參考文獻 2 的研究來說，我們的數據已經很多了）。我們發現雌性成蛛體型往往較雄性大，但跳躍距離卻較短，原本有計畫想比較雌雄之間的差異，無奈蒐集到的個體數並不够多，期待日後持續進行探究。
- 5、在文獻探討和進行實驗的過程中，對於跳蛛行為進行觀察後，覺得跳蛛應該有撲食、逃離和一般移動等三種不同情況下的跳躍行為。我們的研究解答了前人研究「使用體長作為跳躍能力的比較基準」這件事不一定是合理的，在評估跳躍能力時應該要更多方考量跳蛛體型的不同面向。另外，也對跳蛛進行「一般移動性」跳躍距離的測量方式打下了基礎，以後便可根據此實驗設置加以改良，對更多跳蛛的跳躍行為進行探究。

陸、結論

- 1、 體型大小不同的不同種跳蛛進行一般性移動的最大跳躍距離是有顯著差異的。
- 2、 跳遠能力應與體型（體長*體寬）有關，體型較大的安德遜蠅虎、彼得條班蠅虎，跳遠能力顯著優於體型較小的拉邁宇跳蛛。
- 3、 三種跳蛛的最大跳遠距離分別為體長的 25 倍（安）、17.5 倍（拉）、21.5 倍（彼）。
- 4、 在我們的實驗情境下，跳蛛約只有 36%的機會執行精準地跳躍（距離誤差 < 1 cm）。

柒、參考文獻及其他資料

1. Foelix, R. F. *Biology of spiders* (Oxford Univ. Press, New York, 2010).
2. Nabawy, M.R.A., Sivalingam, G., Garwood, R.J. *et al.* Energy and time optimal trajectories in exploratory jumps of the spider *Phidippus regius*. *Sci Rep* **8**, 7142 (2018).
<https://doi.org/10.1038/s41598-018-25227-9>
3. Parry, D. A. & Brown, R. H. J. The jumping mechanism of salticid spiders. *Journal of Experimental Biology* **36**, 654–664 (1959).
4. Hill, D. E. Targeted jumps by salticid spiders (Araneae, Salticidae, Phidippus), Version **9**, 1–28. See, <http://www.peckhamia.com/epublications.html> (2006).
5. 蠅虎適合進行撲食的光環境探討（中華民國第 60 屆中小學科學展覽會）
6. 跳跳虎跳不準—蠅虎的三維跳躍精準度（中華民國第 56 屆中小學科學展覽會）
7. 最佳化的蜘蛛普查方法（2021 全國科學探究競賽-這樣教我就懂）
8. 虎光三色~不同色光環境對蠅虎撲食準確度之探討（中華民國第 59 屆中小學科學展覽會）

捌、附件

附件一、本次實驗所使用之安德遜蠅虎照片與身體形值結果

安德遜蠅虎 <i>Hasarius adansoni</i>					
	1 號 (母) 體長：5.78mm 體寬：2 mm 腳長：6.365mm	2 號 (母) 體長：5.1mm 體寬：2.2mm 腳長：7.326mm	3 號 (母) 體長：5.664 mm 體寬：1.861mm 腳長：遺失	4 號 (母) 體長：5.76mm 體寬：1.873mm 腳長：6.521 mm	5 號 (公) 體長：5.45mm 體寬：2.339mm 腳長：8.575mm
					
	6 號 (母) 體長：5.89 mm 體寬：1.975mm 腳長：6.638 mm	7 號 (母) 體長：6.76 mm 體寬：2.25mm 腳長：7.758mm	8 號 (公) 體長：5.33 mm 體寬：1.95mm 腳長：6.271mm	9 號 (公) 體長：4.22 mm 體寬：1.95mm 腳長：6.271mm	10 號 (母) 體長：6.609mm 體寬：1.293mm 腳長：8.398mm
					
	11 號 (母) 體長：5.235mm 體寬：1.674 mm 腳長：5.53mm	12 號 (公) 體長：4.554 mm 體寬：1.969mm 腳長：5.87 mm	13 號 (母) 體長：5.765 mm 體寬：2.05mm 腳長：5.63 mm	14 號 (母) 體長：4.862mm 體寬：1.715mm 腳長：5.17mm	15 號 (公) 體長：5.312mm 體寬：1.938 mm 腳長：6.14mm
					
	16 號 (母) 體長：6.468 mm 體寬：1.938mm 腳長：6.14 mm				

附件二、本次實驗所使用之拉邁宇跳蛛照片與身體形值結果

拉邁宇跳蛛 <i>Cosmophasis lami</i>					
1 號 (母) 體長：4.6 mm 體寬：1.49 mm 腳長：4.524 mm	2 號 (公) 體長：5.3 mm 體寬：1.43 mm 腳長：4.915 mm	3 號 (公) 體長：3.8 mm 體寬：1.3 mm 腳長：3.965 mm	4 號 (母) 體長：5 mm 體寬：1.34 mm 腳長：4.993 mm	5 號 (公) 體長：4.7 mm 體寬：1.43 mm 腳長：4.527 mm	
					
6 號 (公) 體長：4.8 mm 體寬：1.36 mm 腳長：3.32 mm	7 (母) 體長：6 mm 體寬：1.48 mm 腳長：遺失	8 號 (公) 體長：4.9 mm 體寬：1.27 mm 腳長：3.52 mm	9 號 (公) 體長：4.49 mm 體寬：1.27 mm 腳長：4.54 mm	10 號 (公) 體長：5.064 mm 體寬：1.515 mm 腳長：4.371 mm	
					
11 號 (母) 體長：5 mm 體寬：1.43 mm 腳長：4.104 mm	12 號 (公) 體長：3.798 mm 體寬：1.378 mm 腳長：遺失				

附件三、本次實驗所使用的彼得條斑蠅虎照片與身體形值結果

彼得條斑 蠅虎 <i>Plexippus</i> <i>petersi</i>					
1 號 (母) 體長：5.08 mm 體寬：1.67 mm 腳長：遺失	2 號 (母) 體長：7.462 mm 體寬：2.37 mm 腳長：7.539 mm	3 號 (母) 體長：7.29 mm 體寬：2.303 mm 腳長：8.529 mm	4 號 (公) 體長：5.03 mm 體寬：1.897 mm 腳長：6.383 mm	5 號 (母) 體長：6 mm 體寬：2.1 mm 腳長：7.792 mm	
					
6 號 (母) 體長：7 mm 體寬：2.1 mm 腳長：7.01 mm	7 (母) 體長：5.1 mm 體寬：2 mm 腳長：6.65 mm	8 號 (母) 體長：4.1 mm 體寬：1.45 mm 腳長：4.094 mm	9 號 (公) 體長：4.34 mm 體寬：1.459 mm 腳長：5.868 mm	10 號 (公) 體長：5.568 mm 體寬：1.947 mm 腳長：6.9 mm	

附件四、本次實驗所有跳蛛個體的跳躍結果紀錄

跳台 距離 (cm)	安德遜蠅虎實際跳躍距離(cm)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
3	3.7	4.679			4.37	4.717	4.8	4.193				3.21	6.125	3.353		4.54
4		4.936			5.662	4.443	5.3	6.593				4.224	5.764	5.16	5.494	5.725
5	6			5.8	6.3	5.2	7.36					5.9	5.808		6.598	7.045
6												7.469	7.542		7.123	8.17
7				9.246	7.847		8.747		10.41	9.676	9.496	9.459	8.27	7.807	11.03	7.898
8	8.169			8.355	9.78		9.283		9.502	8.855	10.17	9.106	9.111		11.84	8.36

跳台 距離 (cm)	拉邁宇跳蛛實際跳躍距離(cm)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	3.715	3.614	3.117	3.915	4.491	3.531	4.243		3.818	7	3.4	4.07
4	4.868	5.358	4.673	4.393	4.931	4.543	6.51		4.674		4.335	4.949
5	6.224	6.856	5.21	5.56	5.368	6	6.2		5.424		6.078	6.306
6		7.173	6.623	7.222			8.114					
7					10.01		8.506					
8												

跳台 距離 (cm)	彼得條斑蠅虎實際跳躍距離(cm)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	5.198	5.824	6.079	6.2		7.02		3.713	3.898	4.156
4	6.85	5.658		5.266	7.357	7.36	7.74		8.557	9.646
5		5.8			8	7.9			7.599	5.291
6	7.696								7.423	6.859
7	8.211	11.023				11.739			9.328	7.609
8		13.345			8.987	9.225			8.468	8.894

【評語】 030317

優點：

此研究著重於蠅虎科跳蛛的跳躍能力，探討不同種類跳蛛在一般移動性跳躍（非捕食跳躍）中的跳躍距離與其身體形值之間的關聯，實驗中提供了清晰的方法和結果描述，讓讀者能夠理解研究的進程和結果，並以結構完整的方式撰寫，這是一個值得稱讚的優點。

建議及檢討：

1. 本主題已有相當數量的前人研究，新穎性較不足。雖有初步的量測結果，但多屬現象描述，成因並未有足夠分析。實驗中以 t 檢定作為統計分析之方法，其結果應以平均值製圖，以利各組間結果之比較。
2. 建議在實驗中更清楚地闡述這個研究議題與現有知識之間的連結，並找出其對環境與生態的重要性。
3. 跳遠能力的比較不應進行攏統分析，建議先標明各號跳蛛的基本資料，如雌雄、身形及年齡等，再與其跳遠能力進行相關性分析。

4. 研究結果顯示跳蛛不具備精準偵測距離進行跳躍的能力，此部分可能受到實驗設置的影響，因此需要更多研究來確定此種行為是否普遍存在於跳蛛族群中。後續試驗應可擴大樣本數量和改良實驗設計來提高研究的準確性和代表性。

作品海報



跳蛛體型大小與跳遠能力 、距離判斷之關係探討

壹、研究動機

在生活周遭常常可以看到一種小型的蜘蛛以跳躍的方式移動，常常在注意到牠時便蹦的一下跳到他處因而消失在眼前，透過老師的介紹才知道原來這種小型蜘蛛叫做跳蛛（jumping spider），又稱蠅虎，在分類學上屬於節肢動物門（Arthropoda）、蛛形綱（Arachnida）、蛛形目（Araneae）、新蛛亞目（Araneomorphae）蠅虎科（Salticidae），體型雖小，大多 3-10 mm，但跳躍距離可長達十幾公分（參考文獻 1）。不禁思考普通人類的立定跳遠極限是自己體長多一些而已，然而跳蛛卻可以跳出自己身長數十倍的距離，於是便想對跳蛛的跳躍能力進行探究。跳躍是一種獨特的動物運動形式，與地面接觸的腿快速伸展為抵抗重力的空中平移動作提供了足夠的力量。就像人類的跳躍距離或許與身高、體重、腳長有關，我們設想蠅虎的最大跳躍距離應該會與體型有關。

只是我們並未找到太多相關研究，老師幫我們搜尋到一些國外研究，研究中蠅虎的跳躍距離大約為體長的 4-10 倍（參考文獻 2、3、4），但這顯然與我們觀察到的跳蛛跳躍行為不太相符。在做前人文獻探討時，我們也得知安德遜蠅虎（*Hasarius adansoni*）的極限跳躍距離為 7 cm，且最加跳躍瞄準距離為 2-3 cm（參考文獻 5）。而在另一個研究中得知，安德遜蠅虎在進行撲食時大多會選擇距離獵物 1.5-2 cm 的距離內進行較為精準跳躍（參考文獻 6，但此結果不在文獻中，而是研究者與我們分享的經驗與數據）。所以，我們在此研究中訂出了以下研究目的：

1. 由於在進行文獻搜尋時並未找到對於跳蛛最遠跳躍距離的行為研究，因此我們想試著測試出不同種跳蛛在進行一般移動性跳躍時的最遠距離，以及與體型之間是否有關係。
2. 探究跳蛛進行移動性的跳躍時是否能夠精準測量出距離並進行跳躍。

貳、研究方法

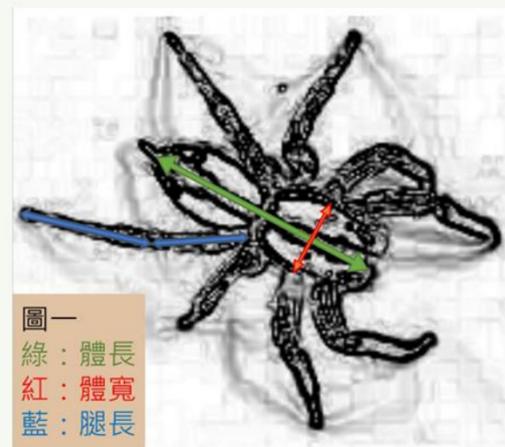
跳蛛捕捉與飼養

針對棲息在不同環境的跳蛛需要使用不同的捕捉方式（參考文獻 7）。針對較容易出現在牆壁、樓道間等人工建物當中的跳蛛，我們會使用目視捕捉法，當用肉眼搜索到時，使用手持樣本瓶將牠們採集起來，以此方法捉到的種類為安德遜蠅虎（*Hasarius adansoni*）、彼得條斑蠅虎（*Plexippus petersi*）。針對容易出現在低矮灌木叢枝條之間的跳蛛，會使用擊落法（beating tray）的方式進行蒐集：用力敲打灌木叢枝條後，再用手持樣本瓶將其捕捉起來，以此方式捕捉到的種類為拉邁宇跳蛛（*Cosmophasis lami*）、彼得條斑蠅虎（*Plexippus petersi*）。

我們選用透明的圓柱型塑膠盒（直徑 10 cm，高度 6 cm）來飼養從野外蒐集到的跳蛛，放置於室溫、日夜時間正常循環且無任何特別調整的實驗室內，使用果蠅作為餵食餌料，餵食頻率大約 3~4 天給予 3 隻果蠅或蚊子，還會在盒內放一小塊沾了水的衛生紙。

體型與跳躍距離量測

跳蛛的體型測量包含了體長（頭胸部前中眼的中間到腹部的最尾端）、體寬（頭胸部的最寬處）和第三、四對步足中的最長足長。我們將跳蛛放在貼有 1 mm 方格紙的培養皿中，使用 Sony 單眼相機搭配 Sony Minolta AF 100mm F2.8 Macro D 進行 1:1 大小的微距拍攝，之後使用 ImageJ 軟體，將 1 mm 方格作為比例尺進行量測，便可得到體長和體寬數據。跳躍測試實驗結束後，便將跳蛛製作成標本以便拉直步足，再進行微距拍攝，得到最長足長數據。（見右圖一）



跳躍實驗

將跳躍平台設置好，並將攝影用手機架於兩個平台正上方，使兩平台完全入鏡並讓白色起跳平台置於畫面正中間。（如右圖所示）

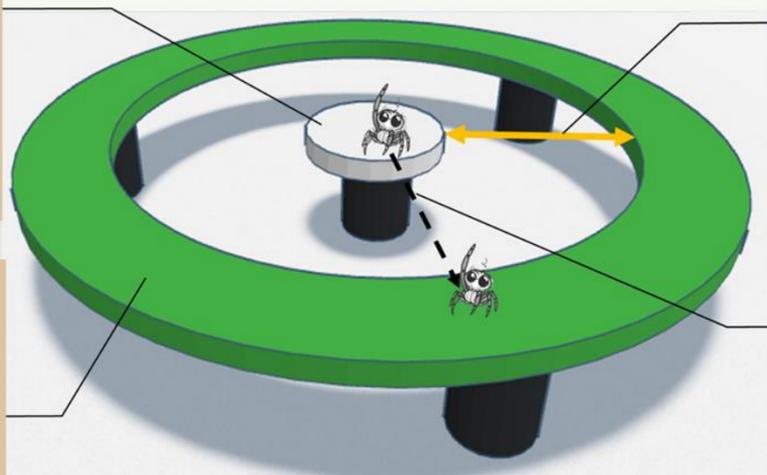
將跳蛛放置於起跳平台後馬上開始錄影。每隻跳蛛每天只做一種距離的實驗，而每個距離實驗以五次跳躍為上限，若五次跳躍內未成功跳到目標平台，或五分鐘內沒有跳躍，視此距離實驗為失敗。（實驗相關細節參考下方示意圖）



▼圖三：實驗跳台設置示意圖

起跳平台為直徑5公分、厚度0.5公分的圓形珍珠板製成，貼有5mm的方格紙作為量測跳躍距離的基準。整個平台加上支柱總高度為12.2公分。

目標平台由珍珠板製成，與起跳平台構成同一平面的同心圓，平台寬度固定都是4公分。上面貼綠色的丹迪紙，讓跳蛛有較高的起跳意願。



以直角尺確認兩圓形平台的邊緣間距都相等，總共設定了 3、4、5、6、7、8 公分等 6 種不同距離。

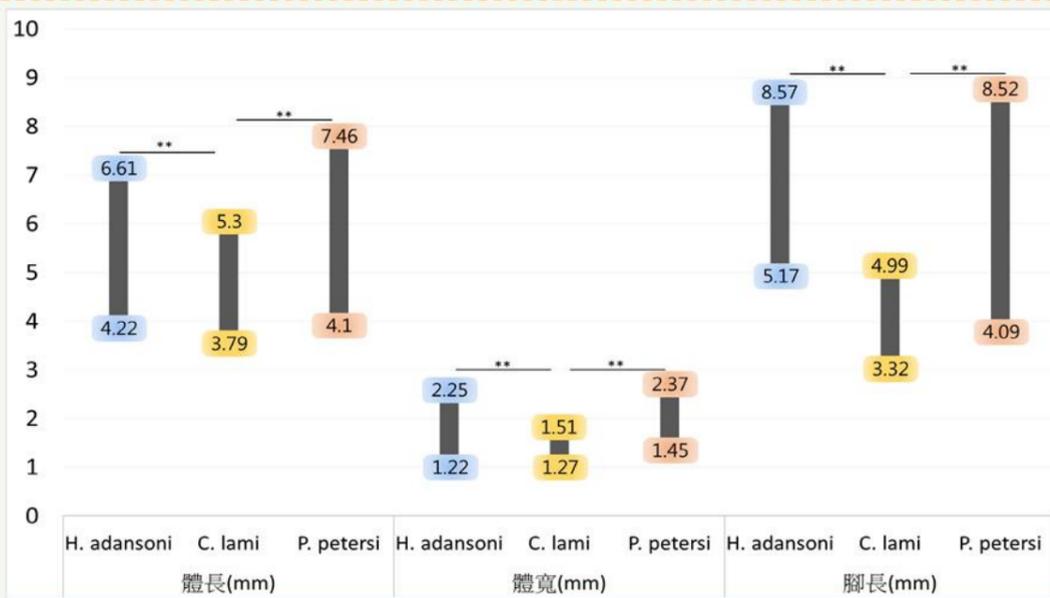
以手機錄影跳躍過程，再以 Startrails 軟體將起跳與落地的瞬間畫面進行疊圖，便可量測水平跳躍距離（以跳蛛頭胸部與腹部的交界處作為量測基準點）。

一、跳蛛體型測量

本次實驗總共使用到38隻跳蛛，分別為16隻安德遜蠅虎、12隻拉邁宇跳蛛和10隻彼得條斑蠅虎，公、母皆有。

安德遜蠅虎的體長介於4.2 – 6.8 mm，拉邁宇跳蛛的體長介於3.8 – 5.3 mm，彼得條斑蠅虎的體長介於4.1 – 7.5 mm；安德遜蠅虎的體寬介於1.7 – 2.4 mm，拉邁宇跳蛛的體寬介於1.25 – 1.52 mm，彼得條斑蠅虎的體寬介於1.4 – 2.4 mm；安德遜蠅虎的腳長介於5.1 – 8.6 mm，拉邁宇跳蛛的腳長介於3.3 – 5 mm，彼得條斑蠅虎的腳長介於4 – 8.6 mm。

使用Excel的t檢定得到安德遜蠅虎和彼得條斑蠅虎的所有身體形值皆無顯著差異，兩者的各項數值皆顯著大於拉邁宇跳蛛。(右圖四)



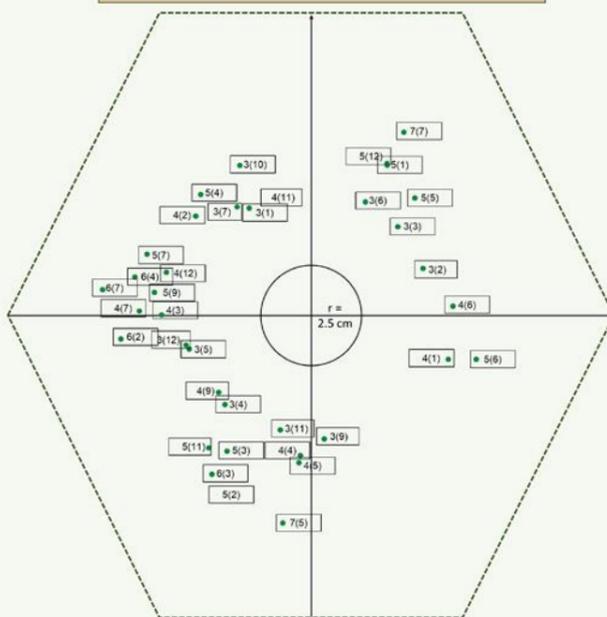
▲圖四、三種跳蛛體型測量結果。灰色長條代表所有個體體型測量數值的全距 (*表單尾顯著、**表雙尾顯著)。

二、跳台距離與實際跳躍距離之結果

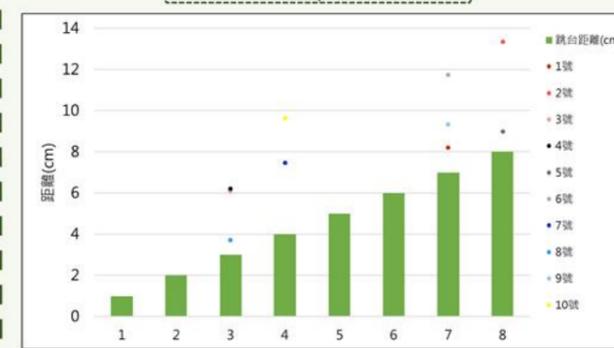
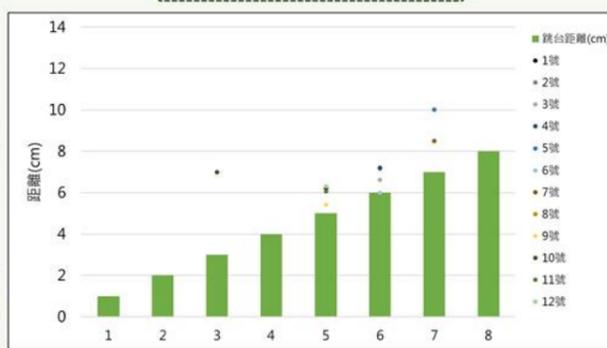
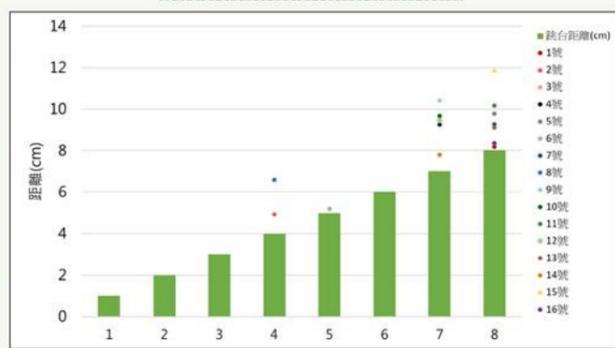
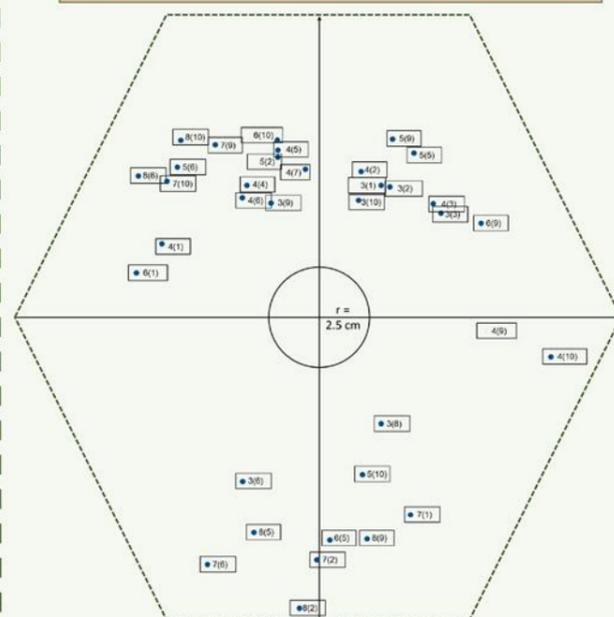
圖五、安德遜蠅虎 *H. adansoni*



圖六、拉邁宇跳蛛 *C. lami*

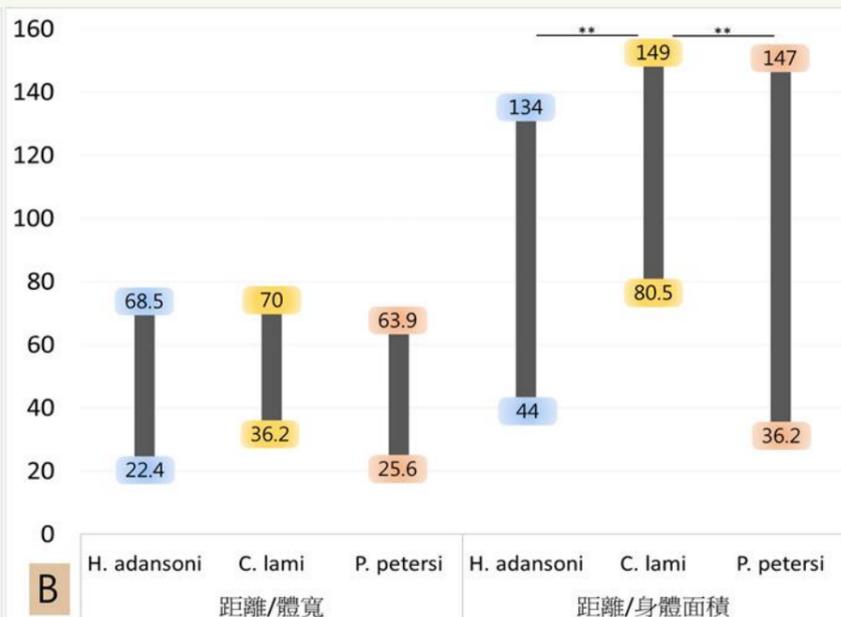
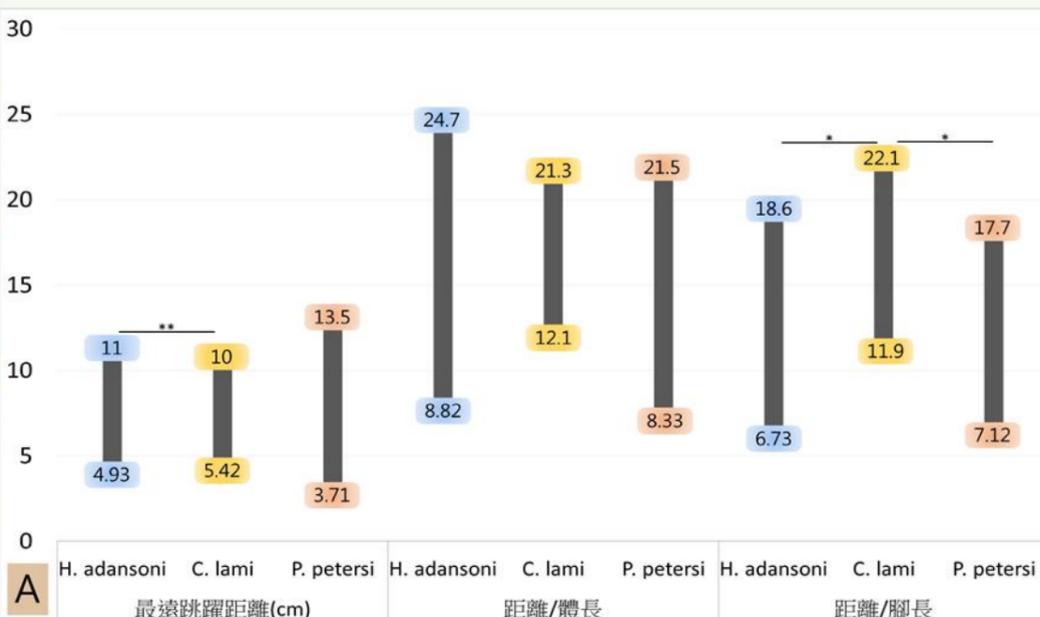


圖七、彼得條斑蠅虎 *P. petersi*



圖五、六、七為三種蠅虎全個體的跳躍結果。上圖為所有跳躍嘗試的結果分布座標圖，數值為跳台距離(跳蛛編號)。下圖為每隻個體最遠跳躍距離(色點)與嘗試跳躍之跳台間距(綠色長條)的關係圖。安德遜蠅虎大多個體都願意嘗試跳7~8公分的跳台，且最遠跳躍距離可達10~12公分，不過跳比較遠的並不是體型較大的個體；拉邁宇跳蛛大多個體都願意嘗試跳5~7公分的跳台(但都不願意嘗試八公分跳台)，且最遠跳躍距離大多為7~9公分，跳最遠的一隻個體有達到10公分；彼得條斑蠅虎呈現兩極化的現象，有些個體願意嘗試跳較遠距離的跳台，但有些則是願意嘗試較近的距離，跳最遠的個體是我們採集到體型最大的個體可跳出接近13.5公分的距離。

三、最遠跳躍距離與體型的關係



圖八、(A)三種蠅虎最遠跳躍距離、最遠跳躍距離除以體長、最遠跳躍距離除以足長。灰色長條代表全距。(B)三種蠅虎的最遠跳躍距離除以體寬、最遠跳躍距離除以身體面積(體長*體寬)。灰色長條代表全距。

三種跳蛛的所有個體最遠跳躍距離的範圍(圖九A)使用t檢定得出安德遜蠅虎和拉邁宇跳蛛的結果有顯著差異。我們最先猜測的跳躍距離會與體長有關，但三者之間都沒有顯著差異。我們第二猜測可能會與第三、第四對步足的長度有關，統計比較結果是有得到顯著差異(圖九A，單尾顯著，雙尾不顯著)。若是考量體寬，三者之間都沒有顯著差異。考量身體面積(體長*體寬)，比較安德遜對拉邁宇、拉邁宇對彼得條班，都有得到顯著差異，如圖九B所示。

肆、討論

1. 我們的實驗結果顯示了三種體型大小不同的跳蛛，可大略區分成體型比較大（安德遜和彼得條斑）和體型比較小的拉邁宇跳蛛，體型大與小之間約略差 40%。在最遠跳躍距離上確實存在差異，且與體型大小是有關連的，但不一定單與體長或腳長有關，而是跟整體體型（體長*體寬）有較大的關聯性（圖八）。

2. 我們想在此研究中測試出三種跳蛛在進行一般移動性跳躍時的跳躍極限，安德遜蠅虎可跳出體長25倍的距離，拉邁宇跳蛛可跳出體長17.5倍的距離，彼得條斑蠅虎可跳出體長21.5倍的距離。但可以說體長越長的跳蛛就能夠跳得越遠嗎？國外文獻僅作出了4 - 10倍體長的跳躍距離（參考文獻2、3、4）



▲圖九、左圖為參考文獻2中所使用的跳蛛 *Phidippus regius*；右圖為參考文獻4所使用的跳蛛 *Phidippus princeps*，體長皆可達1公分（圖片來自網路）。

，與我們的結果差異甚大，可能是因為他們所使用的跳蛛是體型大約10 mm的較大型跳蛛，所以體型越大是否能夠跳得越遠？尚需更多實驗來作確認。

3. 而我們的另一個研究目的，跳蛛在不同跳躍距離下是否能夠精準偵測距離並瞄準？若是將精準偵測距離定義為1 cm誤差以內的話，從圖五、六、七的結果來看，所有跳蛛總共嘗試了128次跳躍，只有46次的跳躍超在我們設定的誤差範圍內，機率为36%，不同種跳蛛的情況不同，安德遜33%（19/58）、拉邁宇53%（19/36）、彼得條斑23%（8/34）。顯然在我們的實驗情況中，跳蛛並不具有精準偵測距離進行跳躍的能力。跳台距離在1和2公分時，有些跳蛛更是直接選擇爬過去而非跳躍，並沒有看到短距離所以跳躍更加精準的情況產生（參考文獻6）。我們猜想可能是目標跳台設置的面積較大，雖然可以讓跳蛛有較高意願去嘗試跳躍（原本設置小跳台，跳蛛看似較不太敢進行跳躍），但也同時讓牠們有更充裕的空間進行移動式跳躍，而與撲食性跳躍需要精準偵測距離的情況大不相同。

4. 在研究初期我們預期可以蒐集到多種跳蛛，但最後只有蒐集到三種，少了在前人資料中（參考文獻8），我們校園中應該會有的雙帶扁蠅虎（*Menemerus bivittatus*）和眼鏡黑條蠅虎（*Phintella versicolor*），若都有蒐集到的話，便可對更多不同屬和不同種跳蛛進行比較。而且，若是可以再蒐集更多個體進行實驗得到更多數據來進行統計的話，結論會更有參考性（但相較於參考文獻2的研究來說，我們的數據已經很多了）。我們發現雌性成蛛體型往往較雄性大，但跳躍距離卻較短，原本有計畫想比較雌雄之間的差異，無奈蒐集到的個體數並不够多，期待日後持續進行探究。

5. 在文獻探討和進行實驗的過程中，對於跳蛛行為進行觀察後，覺得跳蛛應該有撲食、逃離和一般移動等三種不同情況下的跳躍行為。我們的研究解答了前人研究「使用體長作為跳躍能力的比較基準」這件事不一定是合理的，在評估跳躍能力時應該要更多方考量跳蛛體型的不同面向。另外，也對跳蛛進行「一般移動性」跳躍距離的測量方式打下了基礎，以後便可根據此實驗設置加以改良，對更多跳蛛的跳躍行為進行探究。

伍、結論

1. 體型大小不同的不同種跳蛛進行一般性移動的最大跳躍距離是有顯著差異的。
2. 跳遠能力應與體型（體長*體寬）有關，體型較大的安德遜蠅虎、彼得條斑蠅虎，跳遠能力顯著優於體型較小的拉邁宇跳蛛。
3. 三種跳蛛的最大跳遠距離分別為體長的 25 倍（安）、17.5 倍（拉）、21.5 倍（彼）。
4. 在我們的實驗情境下，跳蛛約只有 36%的機會執行精準地跳躍（距離誤差 < 1 cm）。

陸、參考文獻

1. Foelix, R. F. *Biology of spiders* (Oxford Univ. Press, New York, 2010).
2. Nabawy, M.R.A., Sivalingam, G., Garwood, R.J. *et al.* Energy and time optimal trajectories in exploratory jumps of the spider *Phidippus regius*. *Sci Rep* 8, 7142 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25227-9>
3. Parry, D. A. & Brown, R. H. J. The jumping mechanism of salticid spiders. *Journal of Experimental Biology* 36, 654–664 (1959).
4. Hill, D. E. Targeted jumps by salticid spiders (Araneae, Salticidae, Phidippus), *Version* 9, 1–28. See, <http://www.peckhamia.com/epublications.html> (2006).
5. 蠅虎適合進行撲食的光環境探討（中華民國第 60 屆中小學科學展覽會）
6. 跳跳虎跳不準—蠅虎的三維跳躍精準度（中華民國第 56 屆中小學科學展覽會）
7. 最佳化的蜘蛛普查方法（2021 全國科學探究競賽-這樣教我就懂）
8. 虎光三色~不同色光環境對蠅虎撲食準確度之探討（中華民國第 59 屆中小學科學展覽會）