

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

030303

百家「蛛」子 - 大姬蛛幼蛛擴散之研究

學校名稱：基隆市立武崙國民中學

作者： 國二 高語欣 國二 蔡宥淇 國二 林盛維	指導老師： 葉玉君 曾義原
---	-----------------------------

關鍵詞：大姬蛛、卵囊、擴散模式

摘要

本研究主要是探討大姬蛛的生態功能。在實驗地發現，大姬蛛最常出現在校園活動中心左側樓梯的窗框，其他自然環境中數量較少。檢測大姬蛛結網的微棲地狀況，其大姬蛛的移動狀況以及數量，與照度和風力的相關性不高。在棲息地發現，大姬蛛大多產有卵囊，每隻產的卵囊數量不一。為了解卵囊中幼蛛產出後的散佈軌跡，研究中設計實驗箱，放置卵囊，並且在卵囊中的幼蛛孵化後，每日記錄其移動位置。以 GGB 的數學軟體，標定其不同幼蛛每日在蛛網上的位置，進行散佈模式探究。此外，為了解幼蛛在離開蛛網後的擴散情形，研究中以壓克力線仿蜘蛛絲線，並製作風洞以不同的風速，探討幼蛛可能的滑翔軌跡。

壹、研究動機

我們的學校位於半山腰上，平時在教室或走廊就常見到各種小生物。這些生物的出現總是招致同學、甚至老師們的尖叫。除去真正有威脅的長腳蜂和虎頭蜂外，最無辜的便是蜘蛛了。這種小生物明明替我們除去害蟲，卻被同學們誤解，甚至有時無辜的遭到殺死。校園內最常見的蜘蛛是大姬蛛，偶爾下課經過就會發現大姬蛛織網在校園各處。有一些甚至有米色的水滴型卵囊，孵化後，同學覺得樣子噁心，就用掃把撥掉。這讓我們好奇大姬蛛幼蛛孵化後會移去哪裡。

貳、研究目的及研究問題

- 一、校園內微棲地大姬蛛生態調查
- 二、研究大姬蛛幼蛛孵化後蜘蛛團的形狀變化
- 三、研究大姬蛛幼蛛離網時的滑翔軌跡

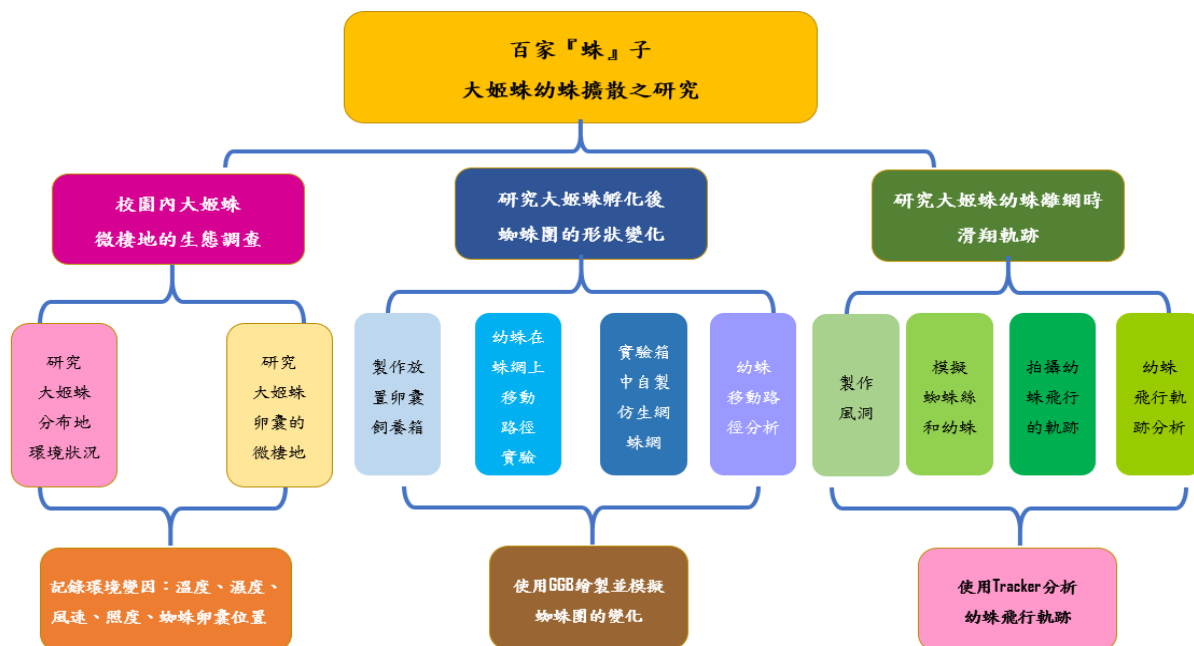


圖 2-1 研究架構圖

參、研究設備及器材

- 一、軟體：Tracker、小畫家、Geogebra、Excel。
- 二、器材：手機架、塑膠珠(0.25*0.25cm)、壓克力線、吸管、瓦楞板、電風扇、自製分佈表、文件夾、透明塑膠片、海報紙、9合1環境偵測器。

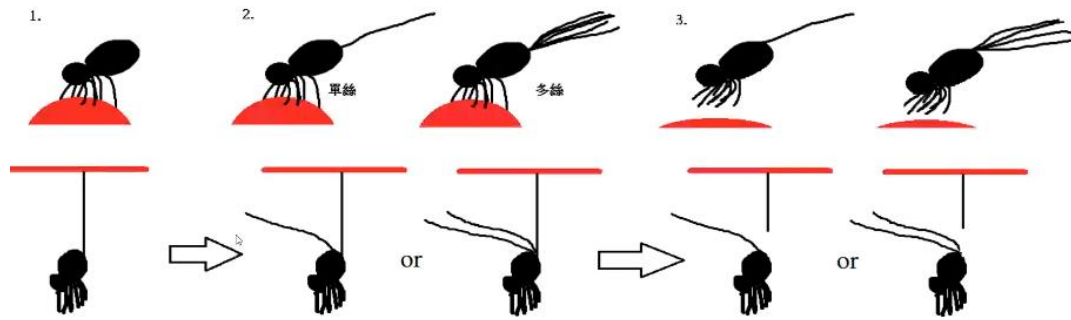
肆、研究過程與方法

一、文獻探討：

- (一) 學者 Kim(2000)在研究影響蜘蛛擴散行為的接近性因素，發現幼蛛在初期擴散的行為上是以 S 函數呈現，平均擴散需十數日。在初期擴散時，每個個體在發育階段 (Developmental instar)與幼蛛身體質量(body mass)仍有相當程度的個別差異性。在個體經過第二階段的蛻皮後的第六天蜘蛛團的凝聚性顯著減少，也就是擴散期的開始。
- (二) Humphrey (1987)在研究蜘蛛熱氣球飛行期間，限制蜘蛛及蜘蛛絲的物理因素。發現其中各種流體力學現象是影響蜘蛛起飛和維持蜘蛛熱氣球行進的要素。運用簡單機械模型，模擬蜘蛛熱氣球的基本阻力特性來定義一個區域，該區域內蜘蛛可以順利起飛。從模型中也可了解風的垂直震盪對蜘蛛熱氣球移動的速率和軌跡的影響。
- (三) Sheldon 等人(2017)提到蜘蛛會使用一種稱為蜘蛛熱氣球的獨特空中擴散方法來遷徙。為了製造蜘蛛熱氣球，蜘蛛必須先從其腺體釋放一條或多條柔性的，有彈性的絲。種類不同的蜘蛛體型、重量皆不同，因此熱氣球行為織出的絲線長度依不同品種而有異。
- (四) Neubauer, Fahrenson 和 Rechenberg (2018)在研究中指出，許多小型蜘蛛都會使用蜘蛛熱氣球飛行。當環境合宜時有兩種起飛方式，分別是「tiptoe」和「rafting」。以「Tiptoe」模式起飛時，蜘蛛會將腹部舉向天，放出一條或多條絲線隨風飛走，「rafting」起飛方式則是先織出一條懸吊絲，吊掛後才放出絲線，被風帶走。研究中也提到蜘蛛熱氣球的行為是為了減少彼此因為環境太壅擠而互相攻擊、競爭。

何謂蜘蛛熱氣球(spider ballooning)?


蜘蛛熱氣球是一種行為，泛指蜘蛛從腺體吐絲，而後飛起的行為，因此就算是單蜘蛛起飛也稱作蜘蛛熱氣球，並非一定要一整群如熱氣球狀起飛才是。



Kim 的研究中提到蜘蛛孵化後擴散的時間和階段和擴散期開始的時候，讓我們好奇大姬蛛的幼蛛孵化後是否有同樣階段性擴散的行為，因此我們決定對這個方面進行觀察研究。而 Humphrey 和 Sheldon 等的研究解釋蜘蛛熱氣球是小型蜘蛛藉由空中擴散的方式遷徙，這讓我們好奇大姬蛛的移動是不是也有類似的規律，並決定進行實驗來驗證。在他們的研究中有提到絲線在空中的物理現象，也有說明不同大小的蜘蛛，其絲線長度可能並不相同，因此我們也針對這些要素來設計實驗。Neubauer 等人的研究發現蜘蛛有兩種起飛方式，而當時機正確時，幼蛛會放出一條或多條絲線。我們想研究看看大姬蛛的飛行模式，但因為真實蜘蛛太小不易觀察，所以我們利用仿生實驗來模擬幼蛛飛行期間，絲線和小蜘蛛飛行距離的變化。

二、研究物種

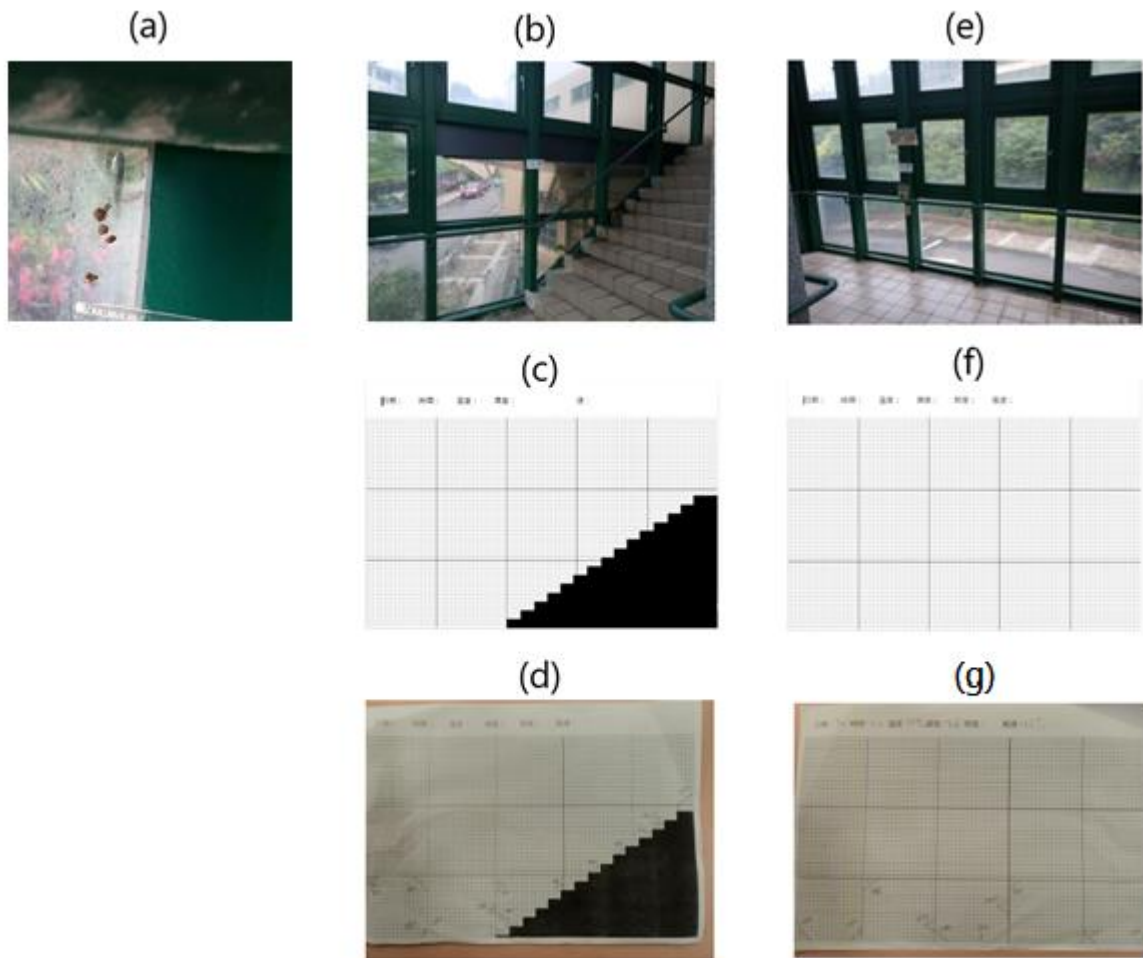
大姬蛛(*Parasteatoda tepidariorum*)

界	動物界 <i>Animalia</i>	分布：低海拔山區	
門	節肢動物門 <i>Arthropoda</i>	網形：不規則	
綱	蛛形綱 <i>Arachnida</i>	體長：雌 6-8mm 雄 4-6mm	
目	蜘蛛目 <i>Araneae</i>	雌蛛背甲、步足和觸肢均為紅褐色；步足短，各節末端近關節處為黑褐色；胸板黃褐色。腹部球形，上面灰褐色，具有黑、白、黃或褐色等複雜的斑紋，雄蛛斑紋大致上與雌蛛類似，但體色較紅褐色。	
科	姬蛛科 <i>Theridiidae</i>		
屬	希蛛屬 <i>Achaearanea</i>		
種	大姬蛛 <i>Parasteatoda tepidariorum</i>		

三、分析大姬蛛在校園內分布地的環境狀況

(一)調查大姬蛛分布地的環境狀況

我們在校園內大姬蛛群聚之處進行分布觀察，選出蜘蛛數量最多且最穩定的活動中心左側樓梯，於周一至週五定時紀錄。總共紀錄時間、溫度、濕度、風速、光度和蜘蛛與卵囊位置等六項環境因素，並繪製在自製的分布表上，然後輸入 Excel 中進行分析。分布表上我們利用實心的圓形代表雌蜘蛛，空心圓形代表卵囊，不規則形狀代表獵物，雄蜘蛛一樣用實心圓代表，再另外標記為雄蜘蛛，並用直線框起蜘蛛網涵蓋的範圍(圖 4-1)。



(g)正面分布紀錄

四、幼蛛網上擴散路徑研究

(一)飼養箱製作：為了近距離觀察幼蛛在網上的移動情形，我們將懷孕的雌蛛移進自製的瓦楞板飼養箱(圖 4-2)，讓蜘蛛在箱內織網產下卵囊。

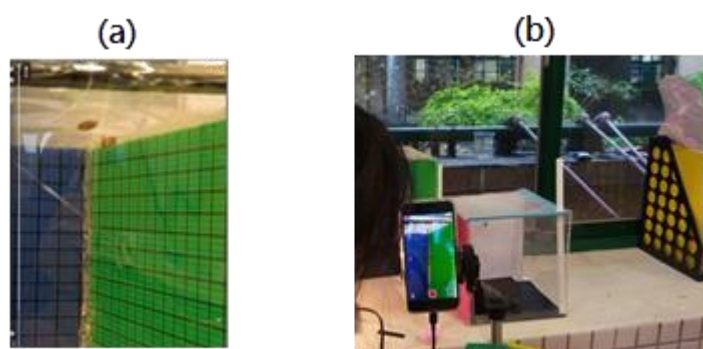


圖 4-2 縮時錄影蜘蛛的移動 (a)實拍、(b)設備架構

1.第一代飼養箱

- (1)首先將三片 20*20 公分的瓦楞板畫上 1*1 公分的格線
- (2)將三片在直角處用熱熔膠黏起。
- (3)接著在上方貼上紗網促進空氣流動，兩側黏上透明塑膠片以便觀察
- (4)最後，我們利用文件夾當作支架黏在飼養箱的四角。

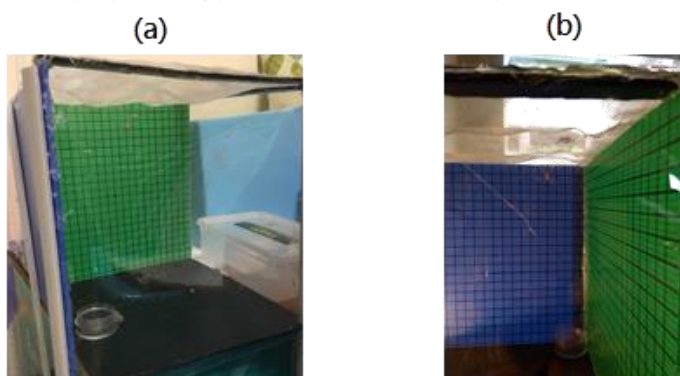


圖 4-3 第一代飼養箱 (a)正拍、(b)側拍

2.第二代飼養箱

第一代以手繪製作的網格其實不大準確，在觀察上也有誤差，於是將網格改成電腦繪製，以確保其標準度以及一致度不會因其他因素出差錯。製作方法如下：

- (1)將電腦列印出的 1cm*1cm 網格以邊緣留白方式剪下，以免影響準確性。
- (2)將瓦楞板裁成 20cm*20cm，並使用雙面膠而非熱熔膠，並將網格紙黏上，以避免熱熔膠造成表格不平整
- (3)使用熱熔膠將瓦楞板貼上裁剪後的吸管以確保黏著後不會歪斜
- (4)裁出約 1 公分寬，20cm*20cm 的 L 型瓦楞板，黏於兩邊，再於 L 形點黏上

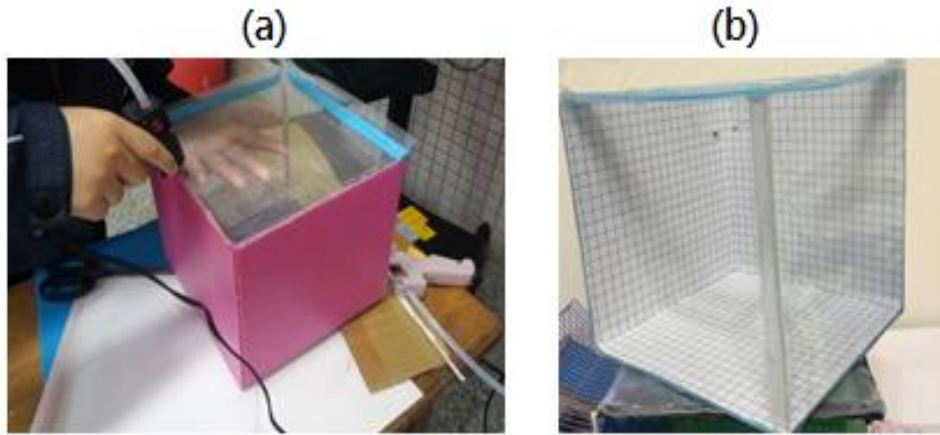


圖 4-4 第二代飼養箱 (a)製作過程、(b)飼養箱成品

(二) 幼蛛網上移動路徑實驗

1. 第一代實驗：幼蛛孵化後以每秒 30 格的模式進行 24 小時縮時攝影，將這些剪成一部八分鐘的影片並用 **tracker** 分析。我們定義蜘蛛若移動距離超過自己體長的一倍就可視為有移動，以排除生物本身調整姿勢或搖晃的行為。我們替每一隻幼蛛用一個特定的質點代表，分析移動的方向以及距離。

2. 第二代實驗：第一代的實驗辦法結果中發現幼蛛絕大部分時間不會有明顯移動，蜘蛛移動的速率緩慢，用 **tracker** 點出的質點大多都停留在同一個位置，不僅花費時間過多也難以彼此比較。所以第二代選擇不要攝影，用孵化後每天照片拍攝兩個角度(上方、正面)的方式替代。

每一組孵化蜘蛛團標出當天上、正角度最外圍的幼蛛，分析每天蜘蛛團大小形狀的變化。我們觀測三組不同環境下幼蛛的移動軌跡。第一組是在分布區域內(非人工環境)雌蛛網上的卵囊(定義為自然網)，第二組是飼養箱內雌蛛網上的卵囊(稱箱內自然網)，第三組是在飼養箱內模擬大姬蛛主網的自製網(稱箱內人工網)。

(三) 製作箱內人工網

為了探討雌蛛是否會影響小蜘蛛的移動路徑，我們決定製造沒有雌蛛的環境，於是我們便想要模擬大姬蛛主網。我們觀察到主網的絲線密度高，但幼蛛可以不受絲線的密集度限制各方位的移動。我們想要模擬大姬蛛的主網絲線密集且四面八方皆可讓幼蛛方便移動結構的特性，因此我們用選擇用壓克力線。壓克力線輕巧、操作方便且邊緣有凸出的小細毛容易讓蜘蛛攀爬，這些性質適合仿作大姬蛛主網結構特性的人工網。我們將蜘蛛移動的方向化簡成 26 個方位意圖觀察並歸類幼蛛移動，所以人工網便使用 13 段壓克力線製成。首先我們依據飼養箱的寬度以及各個對角線的長度剪出 3 種長度的線，接著垂直連起上、下、左、右、前、後 6 個方位，用膠帶、保麗龍膠固定，再來接起四條對

角線的八個方位，接著將前上、後下、前下、後上、前右、後左等餘 12 個方位用線連起固定。最後將校園內採回的卵囊擺置中心處(圖 4-5)。

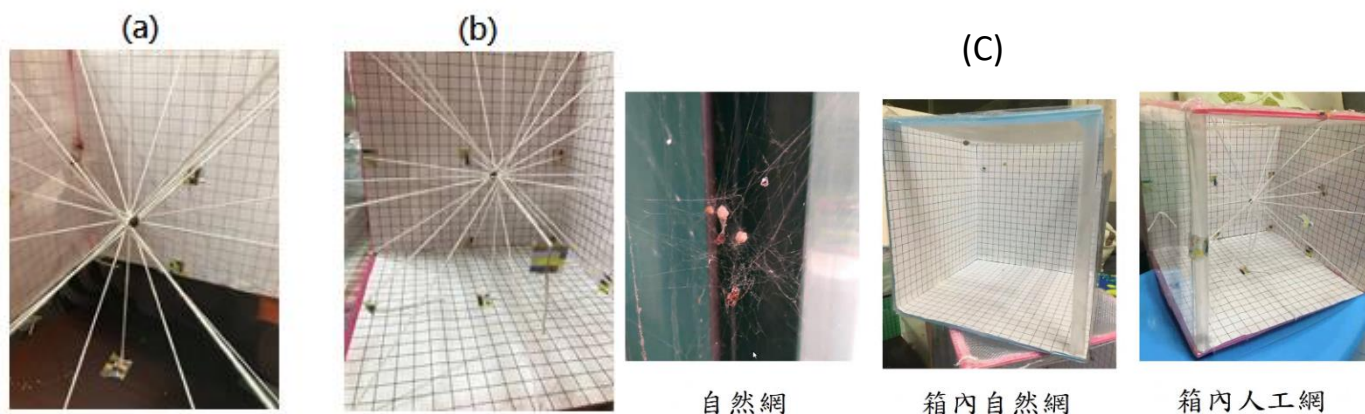


圖 4-5 箱內人工網 (a)卵囊放置位置、(b)人工網成品、(c)三種環境的飼養箱

(四)實驗過程：

我們每天拍攝幼蛛孵化後的自然網、箱內自然網以及箱內人工網的正面、側面兩個角度，直到蜘蛛完全離去為止。本次實驗我們觀察了 2 組自然網(圖 4-6)、2 組箱內人工網(圖 4-7)和 2 組箱內自然網(圖 4-8)。



圖 4-6 自然網拍攝情況



(四)幼蛛路徑實驗分析

我們將拍攝的照片(正、側)放入 Tracker 分析(圖 4-9)，將蜘蛛團整體的形狀標記起來，設定質點標示蜘蛛團最外圍的蜘蛛。本次實驗我們定義蜘蛛團的範圍是卵囊周圍 1 cm 內的所有蜘蛛，由於外圍蜘蛛分布太零散，所以本次實驗目標排除 1cm 外的蜘蛛

蛛。蜘蛛團的形狀則是將最外圍蜘蛛連起成凸多邊形，最外圍蜘蛛的定義為向外 180 度，半徑 0.5 公分的半圓形範圍以內不可以有其他幼蛛(圖 4-9)。若幼蜘蛛位在蜘蛛團範圍內，卻離其他蜘蛛遠於 0.5 公分，則用最短線將幼蛛連到蜘蛛團。我們將 Tracker 質點輸入 Geogebra，做出模型並計算正面、側面每一天的單位面積變化(圖 4-10)，並把蜘蛛團的長、寬、以及蜘蛛密度(公式為：蜘蛛團總面積／蜘蛛實際涵蓋面積)輸入 Excel 計算最外圍蜘蛛團的長、寬、密度綜合比較。

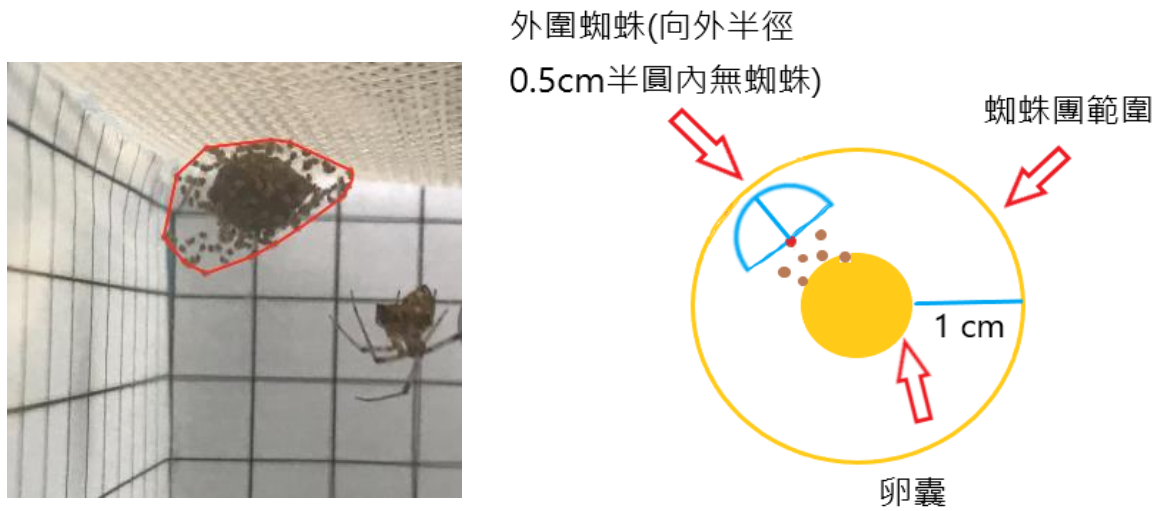


圖 4-9 tracker 外圍蜘蛛定義

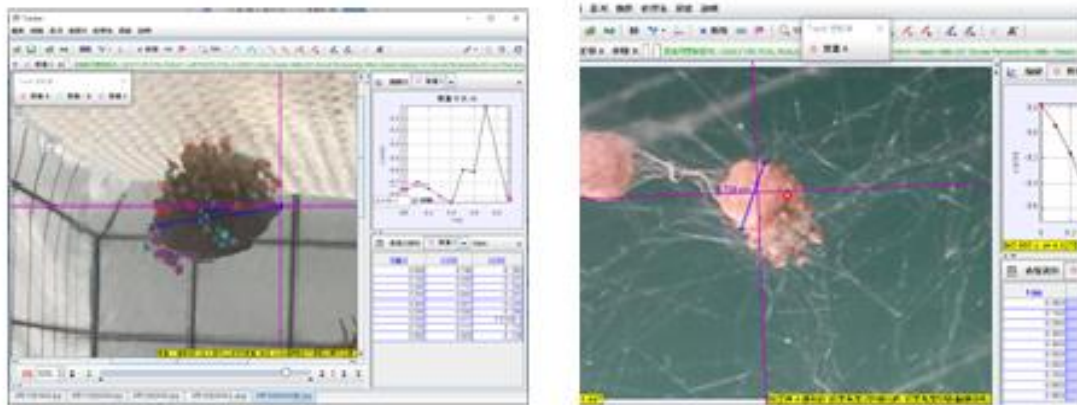


圖 4-10 tracker 分析操作圖

四、研究大姬蛛幼蛛離網時的滑翔軌跡

在觀察大姬蛛的幼蛛時，我們發現他們在擴散後，多數難以在雌蛛的網附近發現。文獻也提到蜘蛛幼蛛可以藉由風進行飛行散播，因此我們設計了這個實驗，以方便了解幼蛛離網時的可能軌跡。

(一) 第一代滑行實驗

1、實驗變因：我們的實驗總共有三個變因：絲的長度、風速、高度。絲長分成 5 公分、10 公分和 15 公分。風速則是分成中(10m/s)和強(12m/s)兩種風速。高度則是 50 公分和 60 公分。我們替每一次的實驗進行編號，編號順序為線長度、實驗次數、風速和起始高度。如：A5 中 60，A 代表線長 5 公分，5 代表這個組別(A 組)的第五次實驗，中代表風速，60 代表離地高度 60 公分。

(二) 模擬蜘蛛絲和幼蛛製作

為了盡量模仿幼蛛飛行時的真實情況，我們查詢文獻採用了與蛛絲密度(1.097g/cm³)相近的壓克力線(1.18g/cm³)作為仿生蛛絲，將壓克力線的四股各分成四分之一，以充作蜘蛛絲，並以塑膠球替代大姬蛛幼蛛進行實驗(圖 4-11)。

製作方法如下：

- 1.將壓克力線裁剪為 5、10 和 15 公分的長度，單一長度各剪 10 條。
- 2.因為幼蛛的體長大約 1mm，若模擬中使用真正尺寸，在操作、分析時會十分困難，所以考慮使用半徑 3mm 和半徑 2mm 塑膠珠，選擇半徑 2mm 塑膠球綁在線頭上，將其編號並且上色標記，最後使用電子天秤確認相同絲長度的模擬幼蛛質量一致(5 cm : 35mg, 10 cm : 40mg, 15 cm : 45mg)。

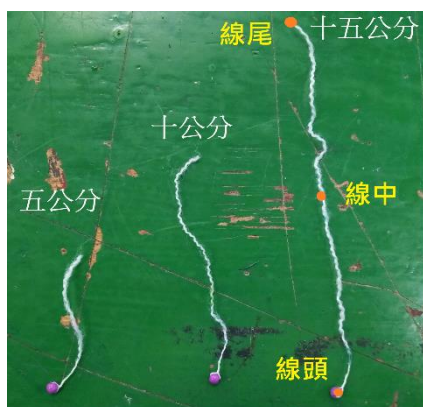


圖 4-11 仿生絲線製作 三種長度的壓克力線（由左至右分別為 5 公分、10 公分及 15 公分）

3、整流器製作過程

為了防止風的方向不一致而造成實驗準確度不足會影響實驗結果，我們製作了整流器來將風向調整成一致。製作方法如下：

- (1)先使用瓦楞板隔出想要整流的空間大小。
- (2)將寬吸管整齊排置入於空格。

(3)用熱溶膠將吸管之間黏起。

後來我們測量在整流器前各個部位的風速，發現有些許差異，因此我們在整流器上標註 40、50、60 公分的高度尺再將各個高度黏上一條橫跨整流器的棉線，在各個高度上尋找風速相同的地方，以降低實驗誤差。



圖 4-12 整流器製作 (a)以熱溶膠黏貼吸管
(b)在整流器上標示高度線，由上而下分別為 60、50 及 40cm

4、製作實驗用比例尺

為了在分析時便於確認蜘蛛飛行距離和高度，我們製作了比例尺平台，製作方法如下：(1)把兩張海報分別畫上 10 公分為單位的刻度。

(2)分別垂直固定在地板和櫃子上(圖 4-13)。



圖 4-13 實驗場地設計 深綠色為縱座標，淺綠色為橫坐標

(三)大姬蛛幼蛛離網時的滑翔軌跡實驗過程

1、預備動作：首先於出風口前安裝整流器，將整流器對齊實驗比例尺，並測量風扇各強度之風速，再把手機架調整至可以看到整流器前端及海報的高度。

2、執行：原先我們計畫將模擬蜘蛛擺放在個平台上讓風自然吹，但是可能因為平台與蜘蛛的磨擦力過大，加上線（絲）與風接觸的面積不夠，導致模擬蜘蛛無法起飛。為了減少摩擦力，一個人抓住做好的模擬蜘蛛熱氣球的線尾端，塑膠蛛對齊於棉線上，放開並錄製其運動過程。

3、飛行蜘蛛實驗結果分析過程

在錄製完塑膠珠和壓克力線的運動軌跡後，我們為了知道其運動軌跡的規律，將影片匯入 **tracker** 進行分析，分析方法如下：

- (1) 把模擬幼蛛、蜘蛛絲中段和蜘蛛絲後段依照其運動軌跡點上質點。
- (2) 讓全部的質點顯示在圖表上以做比較。
- (3) 複製圖片後以小畫家將同一個影格的質點以明顯顏色連成一條線以方便觀察連起後的圖片便可以看出大姬蛛幼蛛的飛行路徑，並進行分析就可以得知不同變因下的差異。

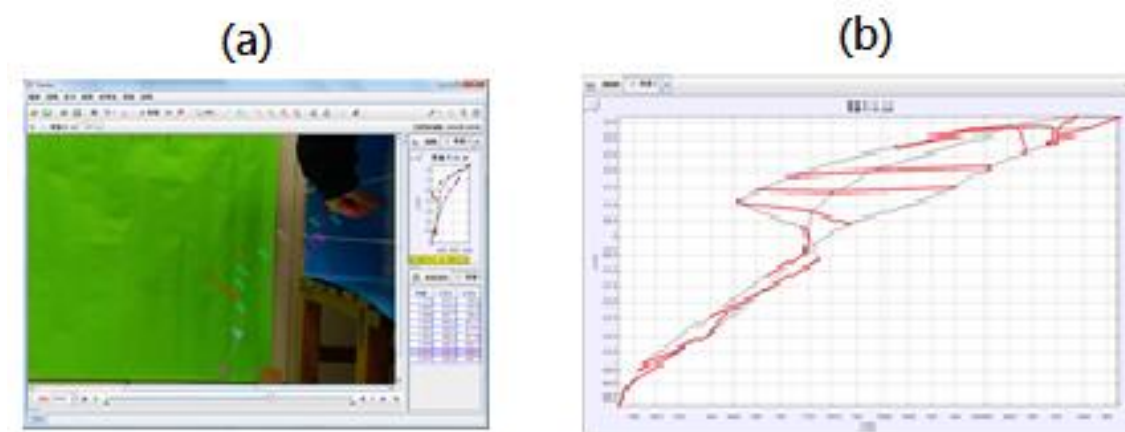


圖 4-14 蜘蛛飛行軌跡分析 (a)使用 tracker 標上質點
(b)再用小畫家描繪軌跡

(二) 第二代滑行實驗

第一代的實驗中，我們發現飛行錄影時蜘蛛的顏色和背景模糊，不易分析。除此之外，我們也發現第一次實驗有許多疏漏，首先，我們並沒有調整風速至固定值，而且方向並不穩定，其次我們所選用的絲線，也就是壓克力線，並不是動物性蛋白，和真實的蜘蛛絲並不符合。而塑膠珠的質量對於模擬小蜘蛛來說，依然太重了。同時我們也發現整流器下方是吹不到風的，因此決定重新針對這些方面改善。

1、製作模擬幼蛛：我們換成使用小保麗龍球(質量輕)和頭髮(動物性蛋白絲)來模擬小蜘蛛和蜘蛛絲，以便再更靠近真實的情況。並且在舊整流器的底下增加上新整流器和電風扇，以免因為風的斷層造成結果轉變。挑選大小接近半徑 1.5mm 的保麗龍珠，並將保麗龍珠以針戳洞，將髮絲從洞穿入保麗龍珠，並以膠水固定，將髮絲剪至要使用的長度(20cm，30cm，40cm)以立可白每隔五公分塗 1 公分(圖 4-15)。

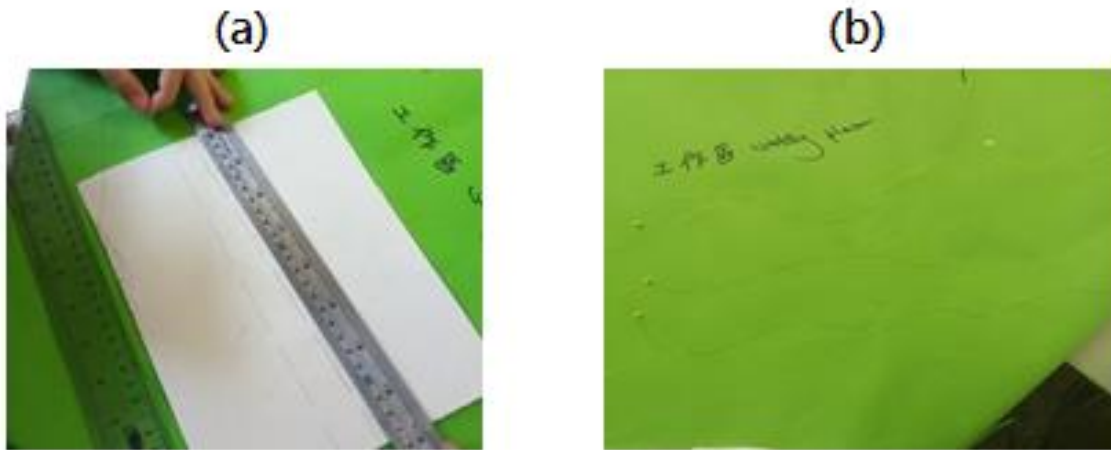


圖 4-15 製作仿生絲及幼蛛

(a)在頭髮上每隔 5cm 用立可白著色

(b)製作成品

2、測量頭髮直徑：我們用複式顯微鏡以及微量尺測量我們採集頭髮的直徑，顯微量尺上一格等於 10 μm (圖 4-16)。

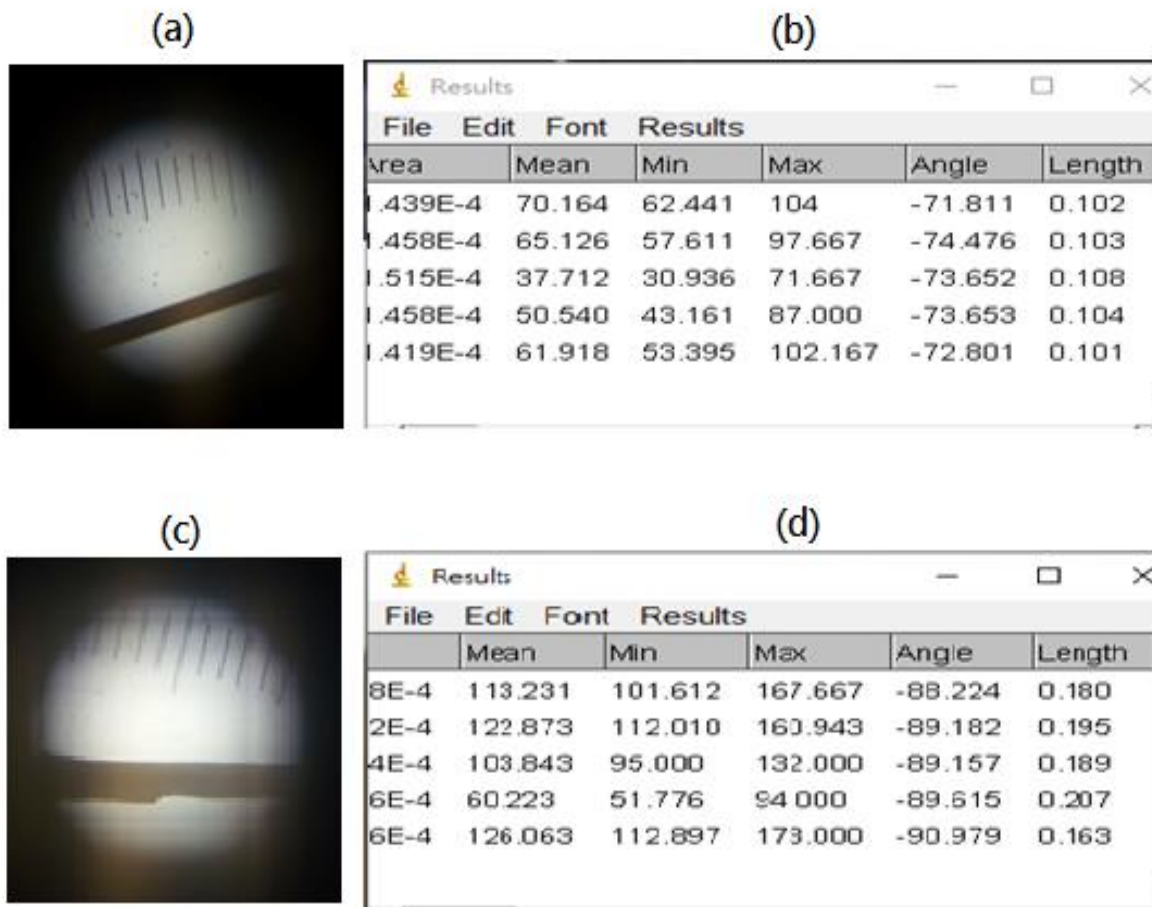


圖 4-16 測量頭髮直徑 (a)(b)為原始頭髮直徑顯微照片與測量示意圖、(c)(d)為塗抹立可白後的顯微照片與測量示意圖

3、增加整流器：我們除了重新製作模擬的幼蜘蛛外，還製作了新的整流器墊在舊整流器的下方。同時在原本的電風扇下方增加新的電風扇，而新電風扇使用和舊電風扇同個廠牌同個型號，盡量維持風速一致。若還是不一致，則用紗網擋在入風口風速較強處調整(圖 4-16)。

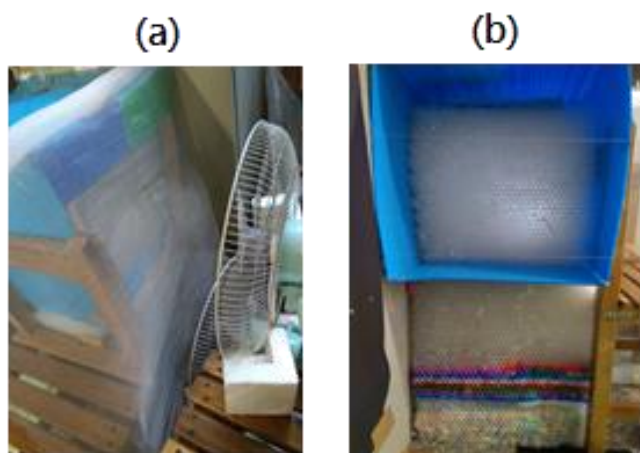


圖 4-16 增加整流器
(a)使用紗網調整風力
(b)並把新整流器安置在舊整流器下方，盡量讓蜘蛛降落時受到的風力一致

4、背景改為黑色海報，讓黃色的保麗龍球凸顯。

5、第二代實驗減少風速這個變因，如果改成控制風速到 1.5m/s，接近野外的風速。模擬幼蛛起飛的高度改成 70 公分與 50 公分，蜘蛛絲線改成長度 20 cm，30 cm，與 40 cm(圖 4-17)。我們用鐵夾替代手，減少對風的干擾(圖 4-18)，並且控制抓住蜘蛛絲的力道。



圖 4-16 測量風速



圖 4-17 實驗用鐵夾

伍、結果

一、分析大姬蛛在校園內分布地的環境狀況

我們在進行分布調查時發現，溫度與濕度對於大姬蛛並不會有太大影響。兩者的 R^2 值都低於 0.5，代表兩者之間並沒有關聯(圖 5-1)。此外，大姬蛛的數量在我們的分布期內也逐漸增加(圖 5-2)，卵囊數量在 11 月，12 月平均卵囊數量最多(圖 5-3)，蜘蛛數量在三月數量達最多。

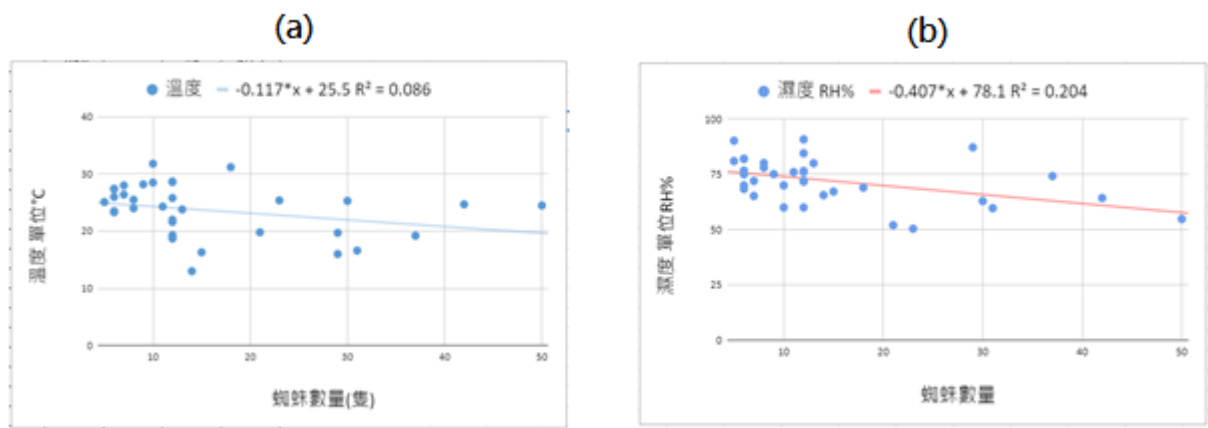


圖 5-1 溫度與濕度影響蜘蛛數量 (a)溫度與蜘蛛數量關係圖、(b)濕度與蜘蛛數量關係

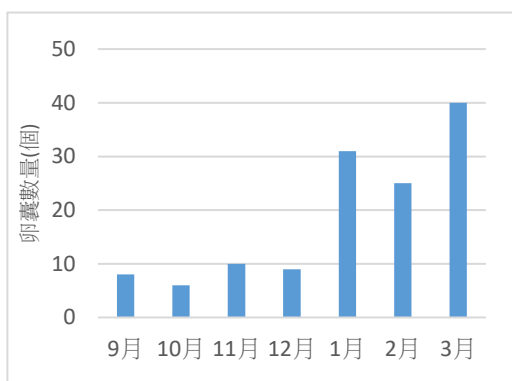


圖 5-2 月份與大姬蛛總數變化長條圖

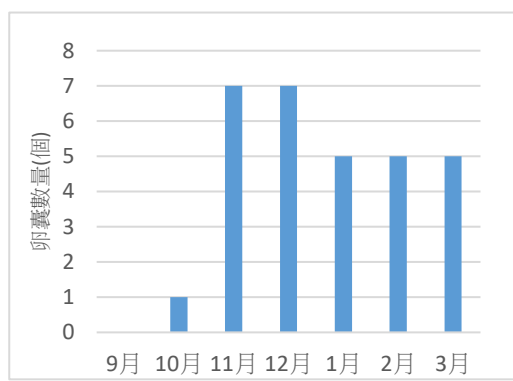


圖 5-3 大姬蛛平均卵囊數量變化長條圖

二、比較大姬蛛幼蛛孵化後之各項數據：

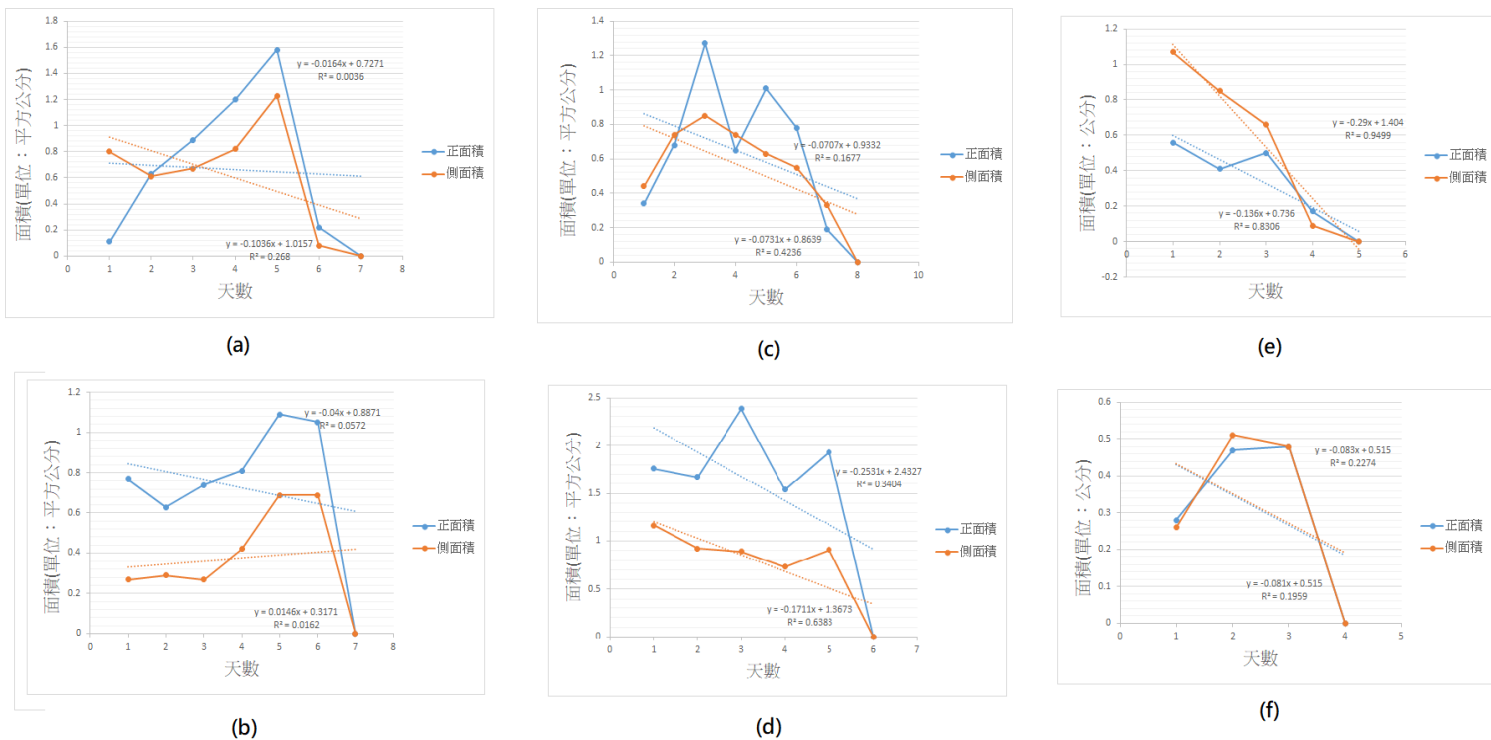


圖 5-4 天數與最大面積變化圖 (a) 箱內自然網 1、(b) 箱內自然網 2、(c) 箱內人工網 1、(d) 箱內人工網 2、(e) 自然網 1、(f) 自然網 2

(一)卵囊最大面積比較

各卵囊的蜘蛛團的最大正面積比較為：箱內人工網 2(2.38 平方公分) $>$ 箱內自然網 1 $>$ 箱內人工網 1 $>$ 箱內自然網 2 $>$ 自然網 1 $>$ 自然網 2。各卵囊的最大側面積比較為：箱內自然網 1(1.23 平方公分) $>$ 箱內自然網 2 $>$ 自然網 2 $>$ 箱內人工網 1 $>$ 箱內自然網 2 $>$ 自然網 2 (圖 5-4)。

(二)單位面積變化

- 1、箱內自然網 1：正面積在前幾天持續增加到 1.58 平方公分，到了第 5 天下降，側面積在第 2 天下降(0.61cm²)，後續持續增加到最大面積(1.23cm²)，直到第 5 天後蜘蛛團面積迅速減少，到了第 7 天完全散開。
- 2、箱內自然網 2：正面積在第 2 天下降至 0.63cm²之後陸續增加，側面積則是前三天面積相似，後來兩者在第 5 天達到最高峰(正 1.09cm²)(側：0.69cm²)，第 5 天到 6 天面積變化平緩，第 7 天完全散開。
- 3、箱內人工網 1：正面積在第 3 天達到高峰(1.27cm²)，第 4 天面積下降，第 5 天面積變大到第二峰(1.01cm²)，事後面積陸續減少直到第八天蜘蛛團解散。側面積同樣在第 3 天達高峰(0.85cm²)，第四天以後面積減少，到第 8 天解散。
- 4、箱內人工網 2：正面積在第 2 天稍微減少，第 3 天達到高峰(2.38cm²)，第 4 天面積減少，第 5 天達第二峰(1.93cm²)，到了第 6 天完全解散。側面積緩慢下降，第 5 天少許變大，第 6 天解散。
- 5、自然網 1：正面積第 1 到 2 天縮小，第 3 天稍微變大，第四天後持續縮小。側面積第 1 到 5 天陸續縮小，到第五天完全擴散。
- 6、自然網 2：正與側的面積幾乎重疊，正面積在第 3 天達峰(0.48cm²)，側面積第 2 天達峰(0.51cm²)，第二天與第三天面積差異不大，第 4 天解散。
- 7、箱內人工網、箱內自然網、與自然網 2 都有先上升到最大面積，後來迅速下降的趨勢。自然網 1，箱內人工網與箱內自然網的側或正面積都有縮小、放大交替的情況。

為方便觀察面積變化情形，我們將小蜘蛛位置標記在 Geogebra 上，並建構蜘蛛孵化擴散圖(圖 5-5)。

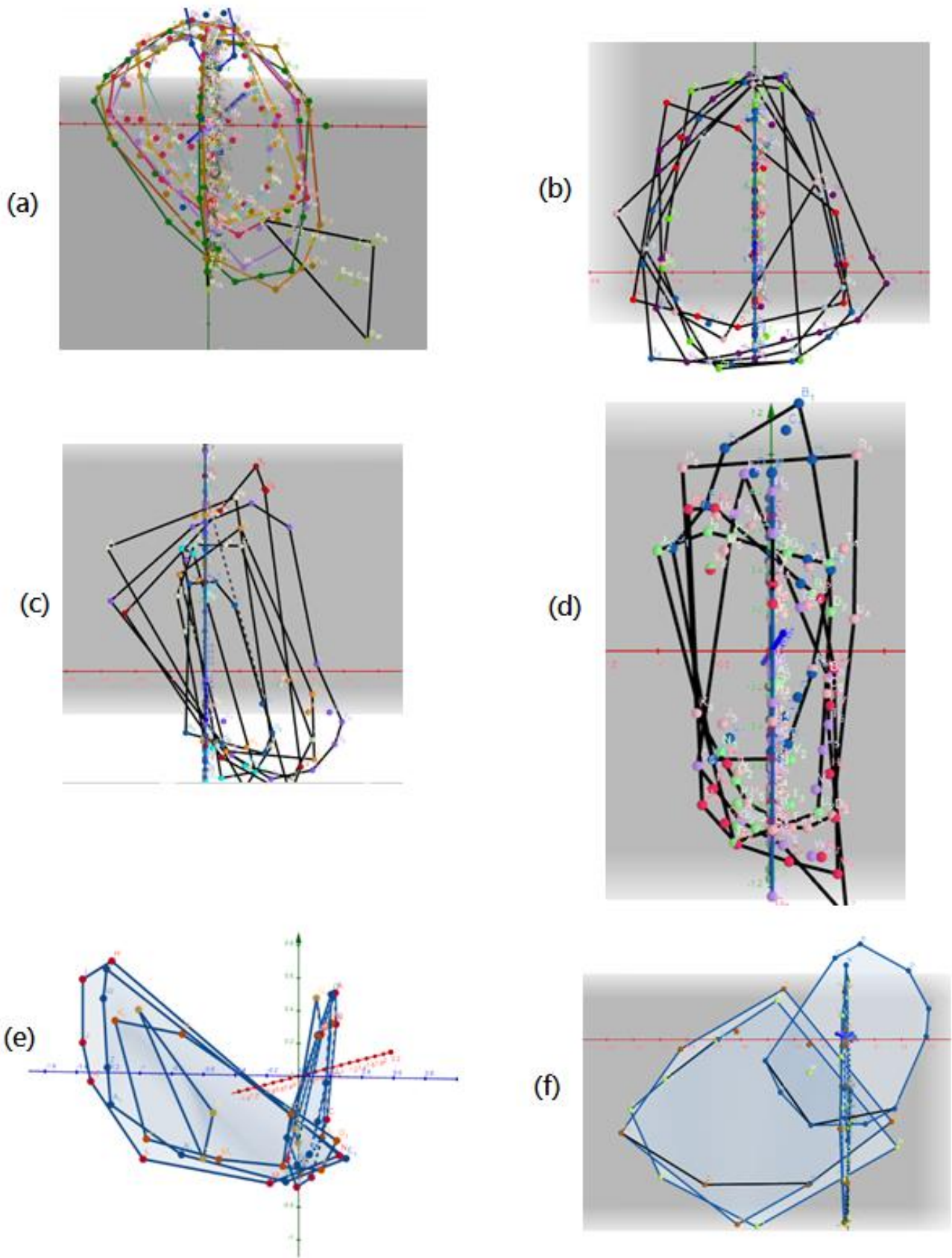


圖 5-5 Geogebra 擴散建模圖 (a) 箱內自然網 1、(b)箱內自然網 2、(c) 箱內人工網 1、(d)箱內人工網 2、(e) 自然網 1、(f)自然網 2

(三)擴散所需時間實驗結果

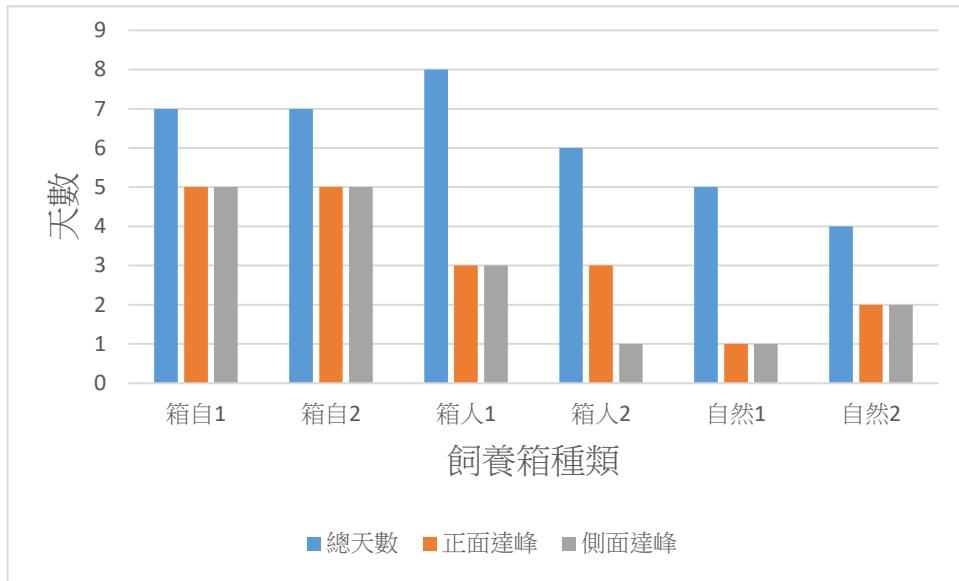


圖 5-6 擴散天數長條圖

從天數與擴散的角度觀察發現(圖 5-6)，擴散時間是箱內人工網(8 天)>箱內自然網 1(7 天)=箱內自然網 2(7 天)>箱內人工網 2(天)>自然網 1(5 天)>自然網 2(4 天)。5 組中唯有箱內人工網 2 的雙面面積高峰是在不同天達到。到達面積高峰天數為箱內自然網 1(第 5 天)=箱內自然網 2(第 5 天)>箱內人工網 1(第 3 天)=自然網 2(第 2 天)>自然網 1(第 1 天)。

(四)蜘蛛團的正面積和側面積相關性比較

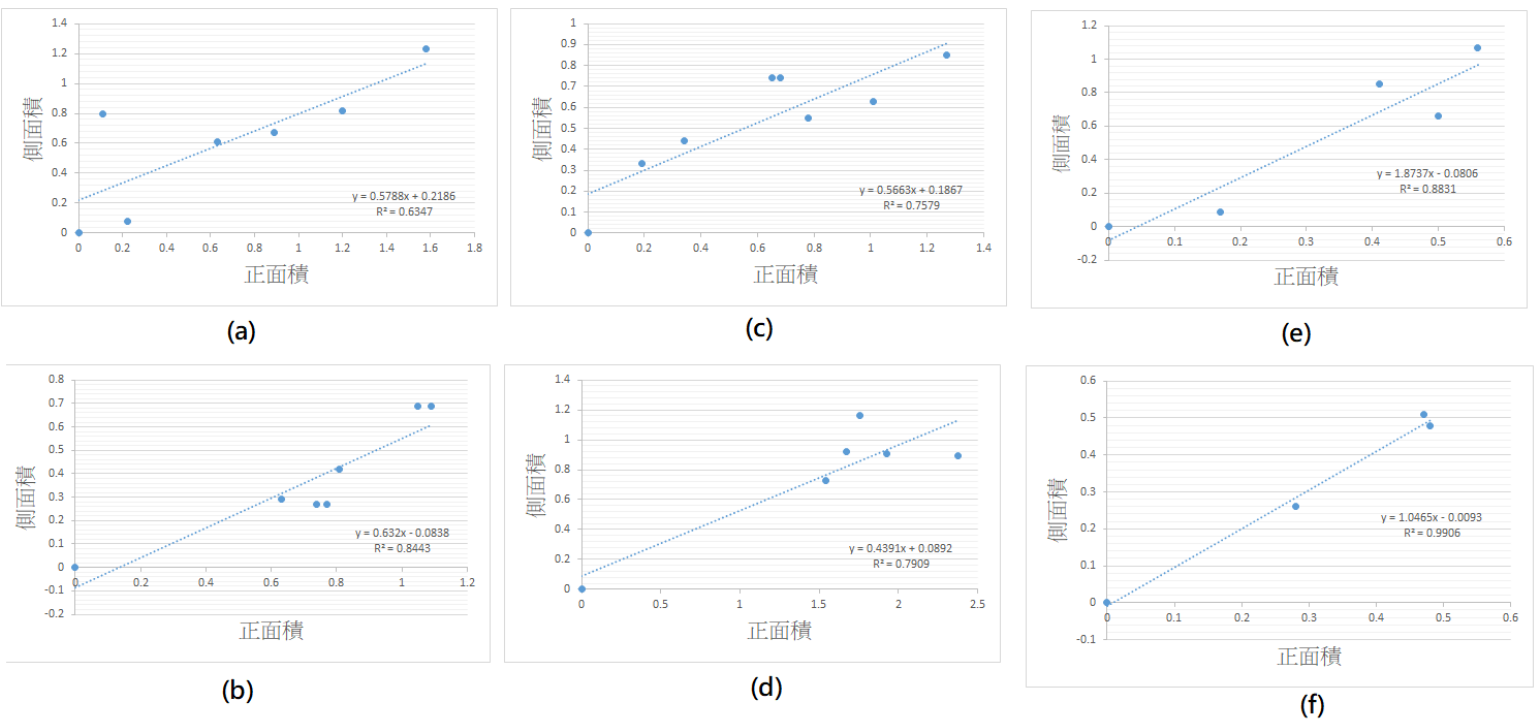


圖 5-7 正面積與側面積相關性圖 (a) 箱內自然網 1、(b)箱內自然網 2、(c) 箱內人工網 1、(d)箱內人工網 2、(e) 自然網 1、(f)自然網 2

我們發現三種環境下蜘蛛團正與側面積呈現高度相關性(圖 5-7)， R^2 從最低 0.6347 到最高 0.9906。蜘蛛團的兩側面積呈現接近等比例放大與縮小的情形。

(五)正面與側面的最大長度數據

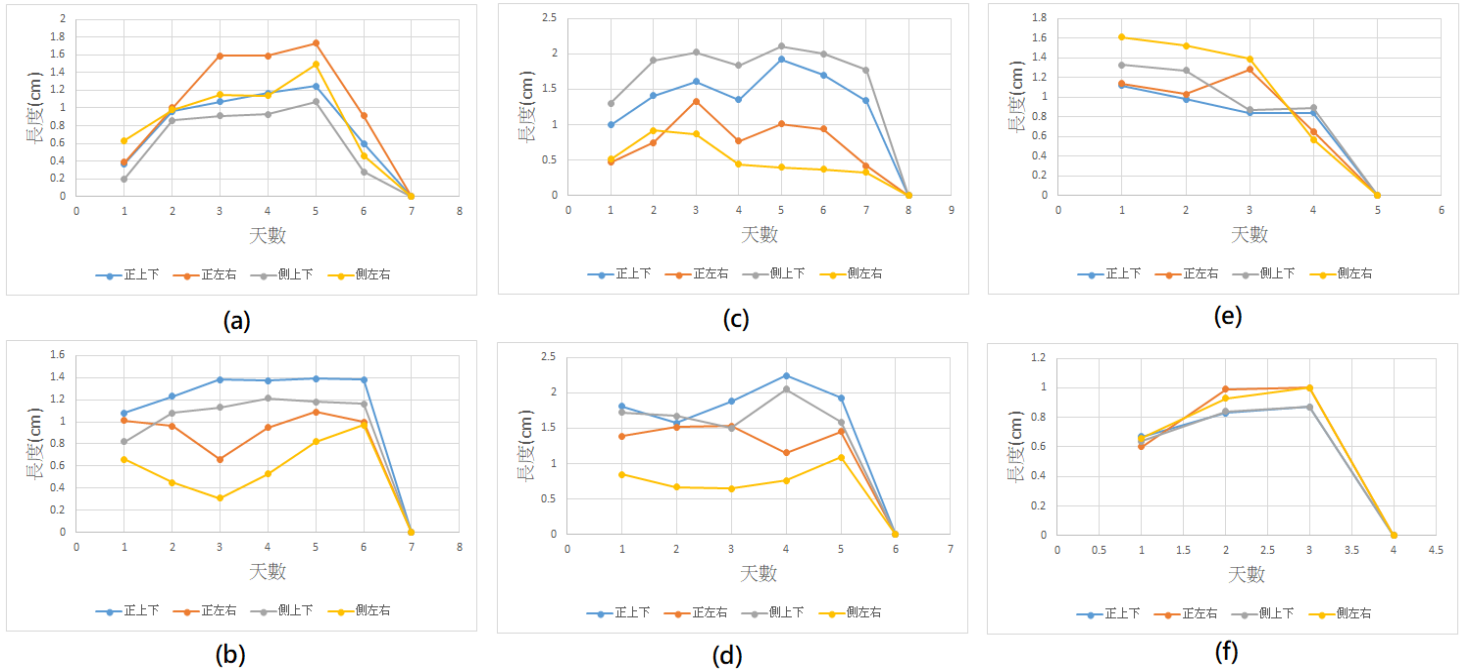


圖 5-8 蜘蛛團正與側面長、寬變化圖 (a) 箱內自然網 1、(b)箱內自然網 2、(c) 箱內人工網 1、(d)箱內人工網 2、(e) 自然網 1、(f)自然網 2

我們用 Geogebra 算出蜘蛛團正與側面的長與寬，「正上下」指蜘蛛團正面最頂端與最底下蜘蛛的垂直距離，「正左右」指蜘蛛團正面水平距離，以此類推(圖 5-8)。

1、箱內自然網 1：(側左右>側上下)(正左右>正上下)蜘蛛團雙面的長寬同時在第 1 到第 3 天增加，第 3 天到第 4 天幾乎不變，第 5 天稍微上升，到最遠距離，後來縮小直到第 7 天完全散開。

2、箱內自然網 2：當正面與側面上下的距離上升(第 1-3 天)，正面與側面的左右距離下降(第 1-3 天)。4 到 6 天，正、側上下距離變化微小，正面與側面的左右距離卻在此時增加，到了第七天完全散開。

3、箱內人工網 1：長寬同時在 1 到 3 天上升，第 4 天下降，第 5 天側與正上下，正左右上升後下降，到第 8 天完全離開。側左右的距離在此時大概為不變，第 7 天以後完全離開。整體呈現 m 型。

4、箱內人工網 2：正上下和正左右的長度在 1 到 4 天先下降後上升達到最長距離，正左右的長度在第一到第 3 天稍微上升，第 4 天下降後上升。側左右在地 1 到三天平緩下降，第三天以後上升，到了最長距離的第 5 天，第六天完全散開。

5、自然網 1：正、側上下和側左右從第 1 天到第 5 天完全散開一直呈現距離逐漸縮小的狀態。正左右一開始縮短，到了第三天變長，後續距離持續縮短，第五天散開。

6、自然網 2：正面與側面的長與寬同時在第 1 天上升，地 2 天變化不大，第 3 天到第 4 天迅速擴散。

(六) 正面與側面的最大長度相關性比較

1. 正面最大長度比較

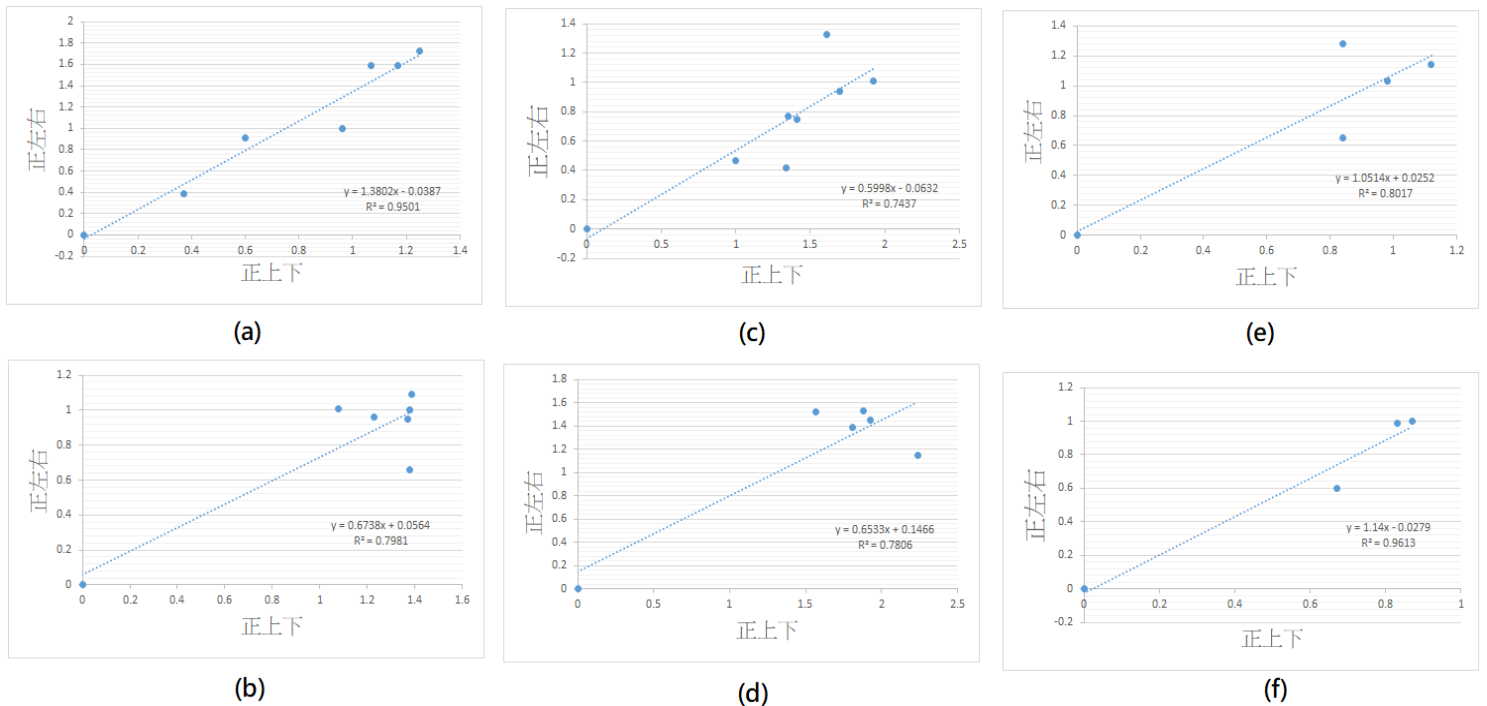


圖 5-9 正面上下距離與正面左右距離相關性圖 (a) 箱內自然網 1、(b) 箱內自然網 2、(c) 箱內人工網 1、(d) 箱內人工網 2、(e) 自然網 1、(f) 自然網 2

正上下與正左右距離呈現高度相關性，最高 R² 值達 0.9613(自然網 2)，最低 0.7437。雙向長度接近等比例放大與縮小(圖 5-9)。

2.側面最大長度比較

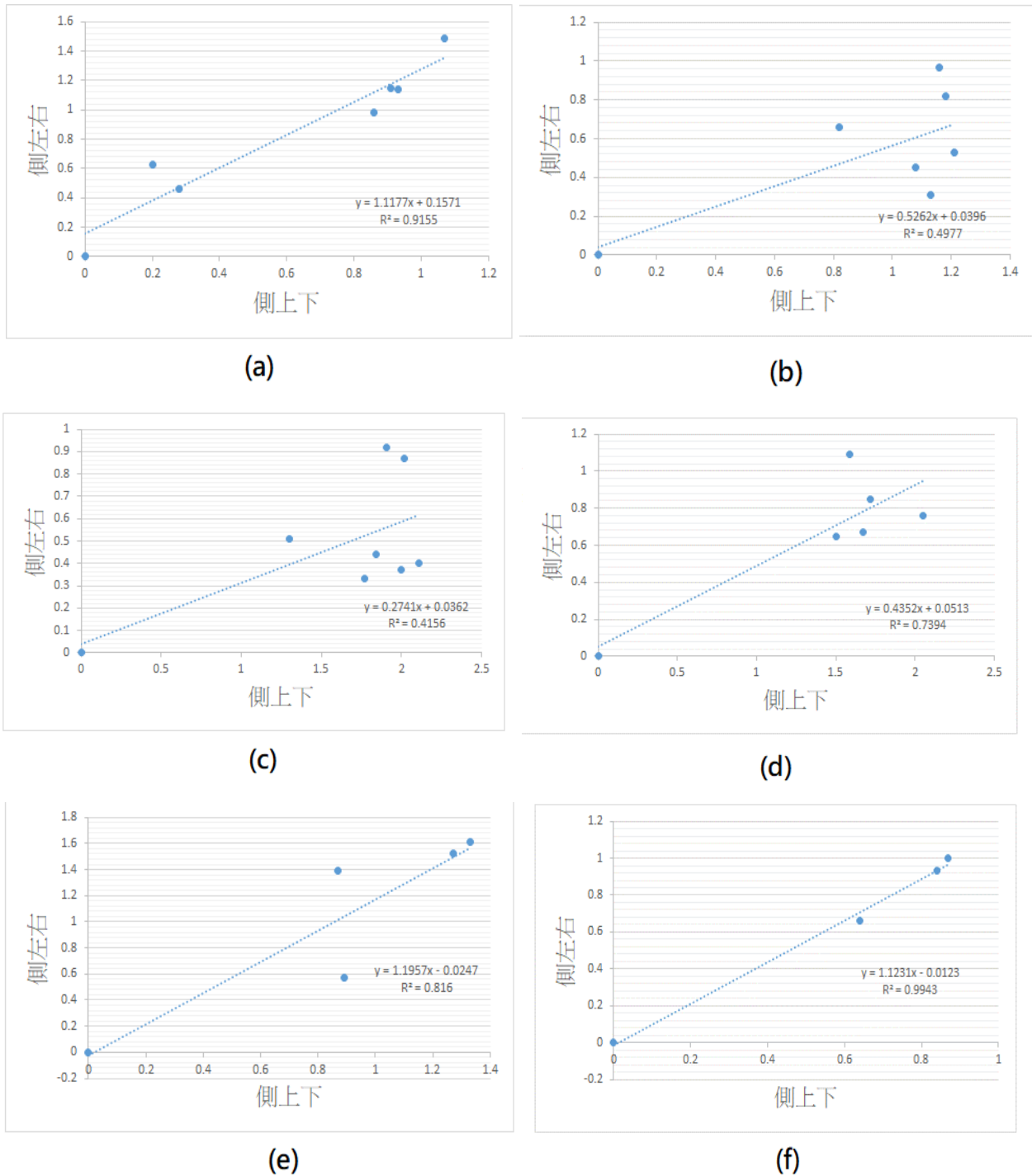
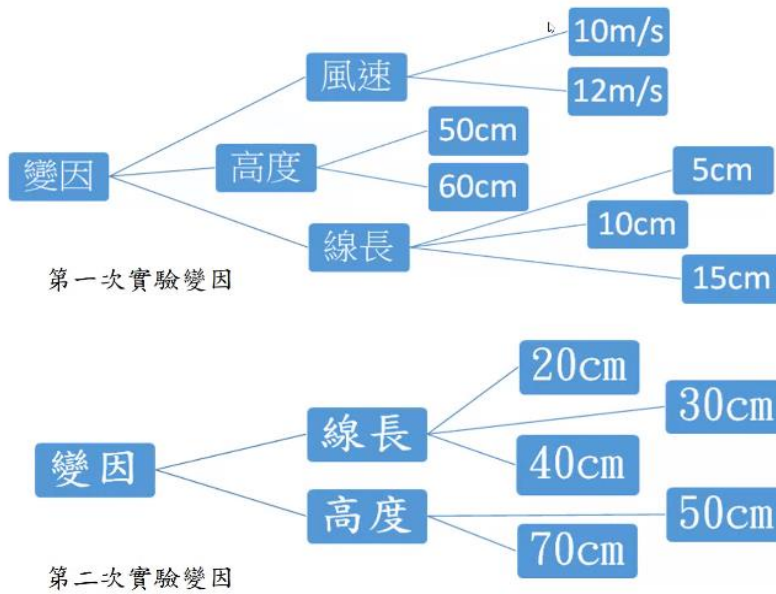


圖 5-10 側面上下距離與正面左右距離相關性圖 (a) 箱內自然網 1、(b) 箱內自然網 2、(c) 箱內人工網 1、(d) 箱內人工網 2、(e) 自然網 1、(f) 自然網 2

蜘蛛團尺寸於各幼蛛飼養箱(箱內自然網 1、箱內人工網 2、自然網 1、2)的側面長寬尺寸有高度相關性(圖 5-10)。R²值最高達 0.9943，最低 R² 值為 0.7394。箱內自然網 2 與箱內人工網 1 相關係較低，R² 值分為 0.4977 及 0.4156。

三、研究大姬蛛幼蛛離網時的滑翔模式

在兩次研究過程中，我們在滑翔實驗中設置的變因，如下圖所示。



(一)仿生大姬蛛滑翔模式

1.A70 滑翔數據

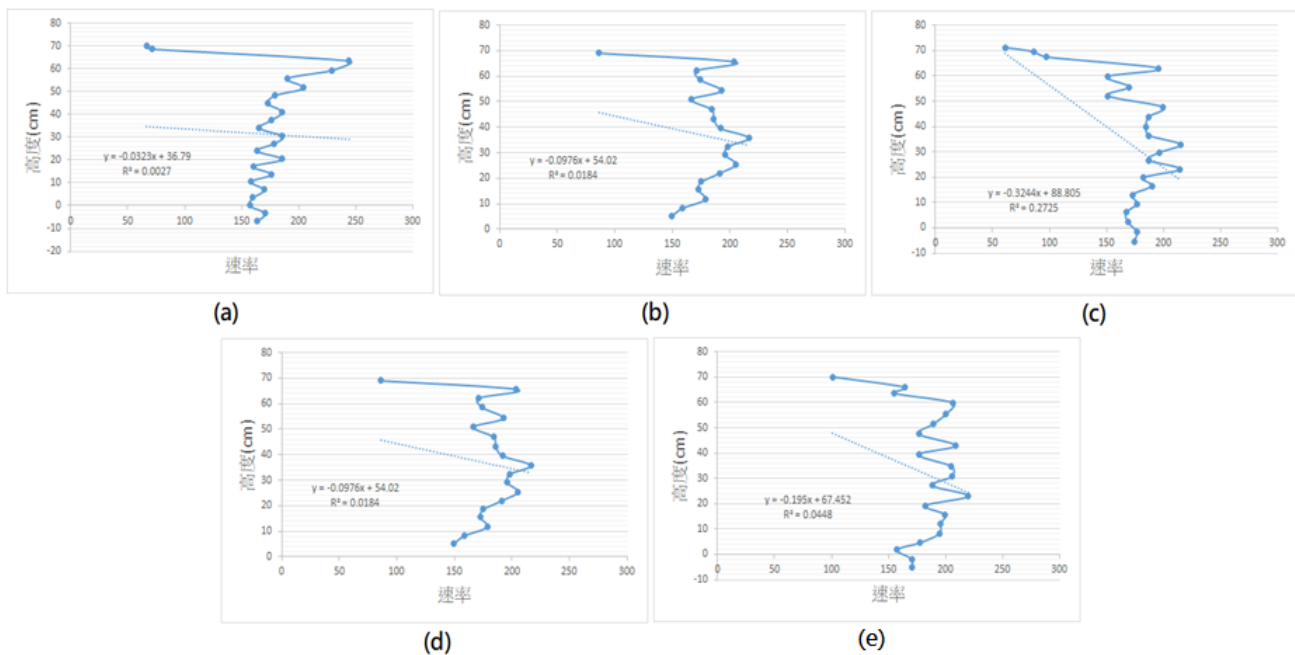


圖 5-11 A70 組高度與速率變化圖 實驗次數 10 次，取其中 5 組

實驗數據顯示 5 隻模擬幼蛛於前 4 個影格內的飛行狀況(圖 5-11)，有以下幾點共同的飛行模式，首先，模擬幼蛛在初始飛行時，速率快速增加，其次在約 60 公分的高度時飛行速率呈現快慢波動、速率不一，到了大約 35 公分高度時，除了(a)之為其他都達到最高速率(200-250 cm/s)幼蛛的飛行速率漸漸變慢直到落地。落地時速度取於 150-200cm/s 之間。

2.A50 組滑翔數據

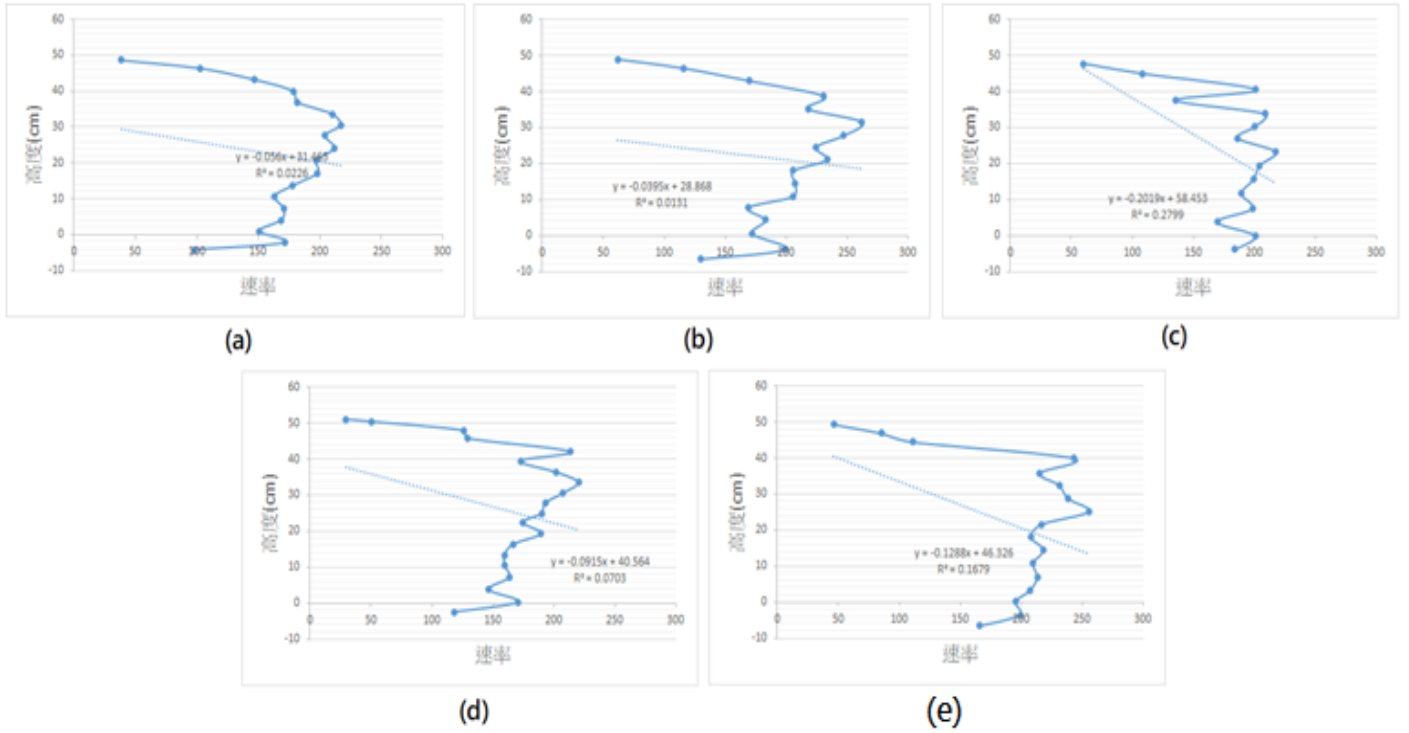


圖 5-12 A50 組高度與速率變化圖 實驗次數 10 次，取其中 5 組

A50 組與 A70 模擬幼蛛飛行情形有所類似，首先在開始飛行時速率最快，經過飛行降至 40 公分高度時，速率開始出現快慢交錯的情形(圖 5-12)。最大速率出現在 30 公分左右 (200-250 cm/s)。

3. B70 組滑翔數據

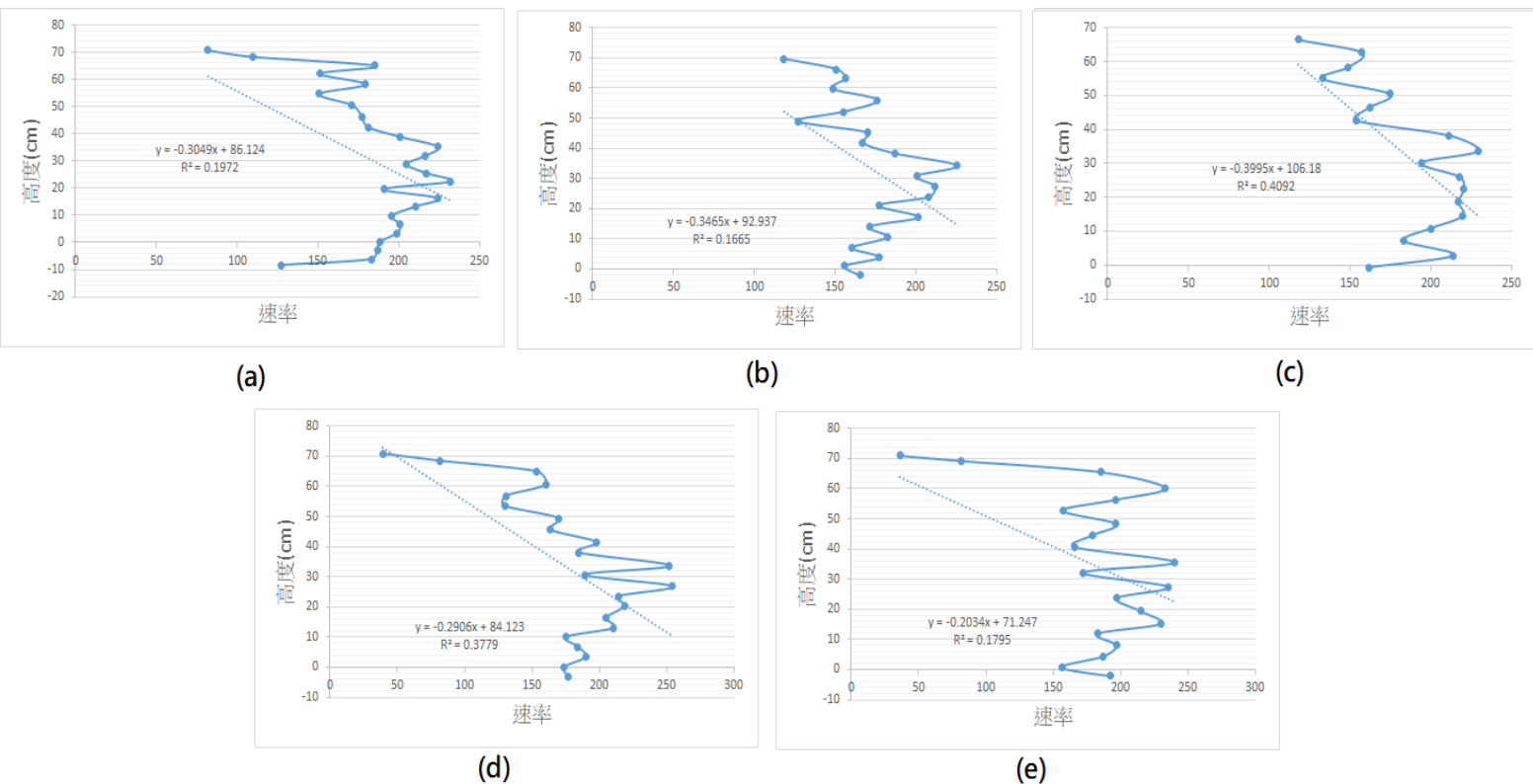


圖 5-13 B70 組高度與速率變化圖 實驗次數 10 次，取其中 5 組

B70 組與 A70 的飛行情形有所類似，首先在開始飛行時速度較快，經過飛行降至 40 公分高度時，速率開始出現快慢交錯的情形，直到 30 公分處模擬幼蛛拿到最高速率，(200-250cm/s)，接下速率漸漸下降，達 150-200cm/s 之間。

4.B50 組滑翔數據

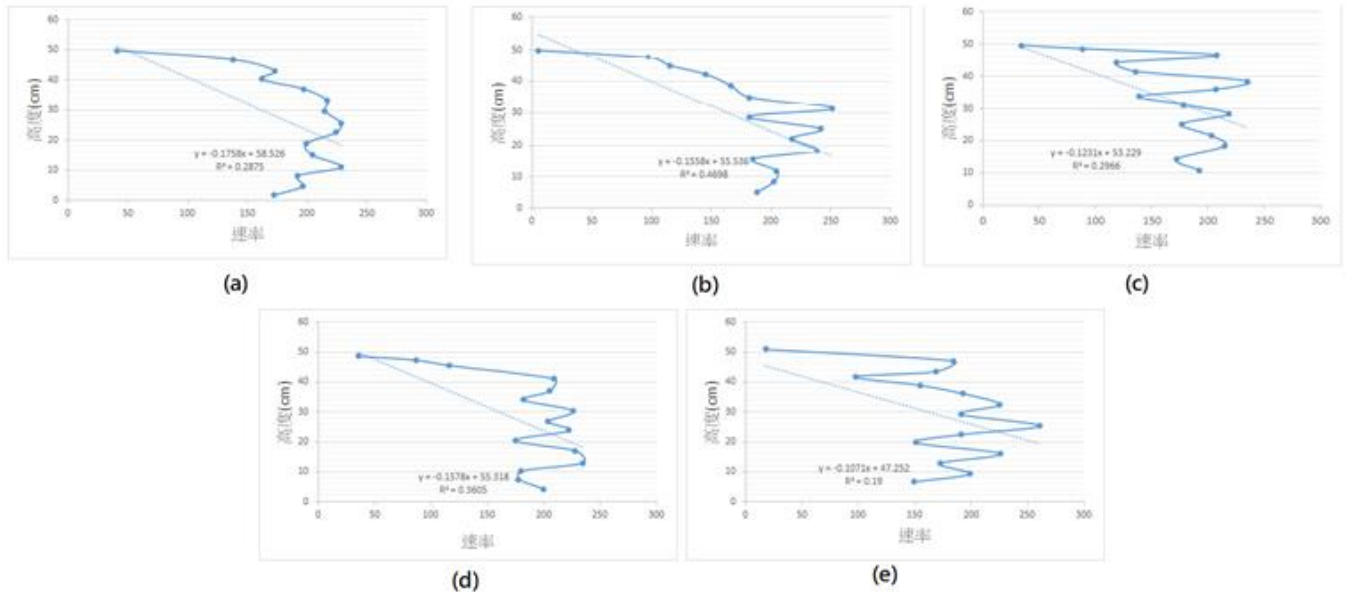


圖 5-14 B50 組高度與速率變化圖 實驗次數 10 次，取其中 5 組

幼蛛在前段速率增加最快，到了 30 公分左右速率最大(225-275cm/s)，後來漸漸下降，落地時達到 150-200cm/s 左右(圖 5-14)。

5. C70 組滑翔數據

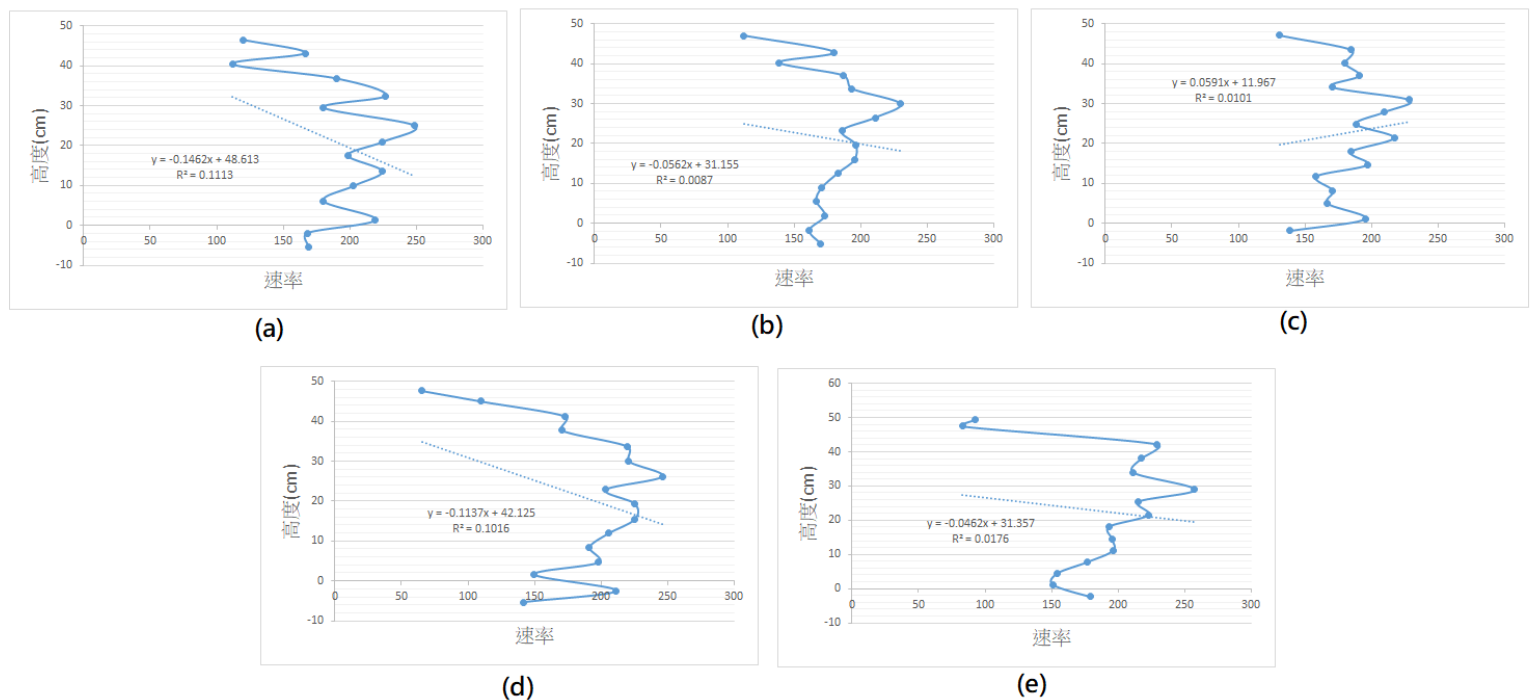


圖 5-15 C70 組高度與速率變化圖 實驗次數 10 次，取其中 5 組

C70 組蜘蛛在初期飛行時會持續加速，直到六十公分處速度增加的情況變小，最高速率的位置不定，有三組在 35 公分處達到最高峰，後來速率下降至 150-200 左右。

6.C50 組滑翔數據

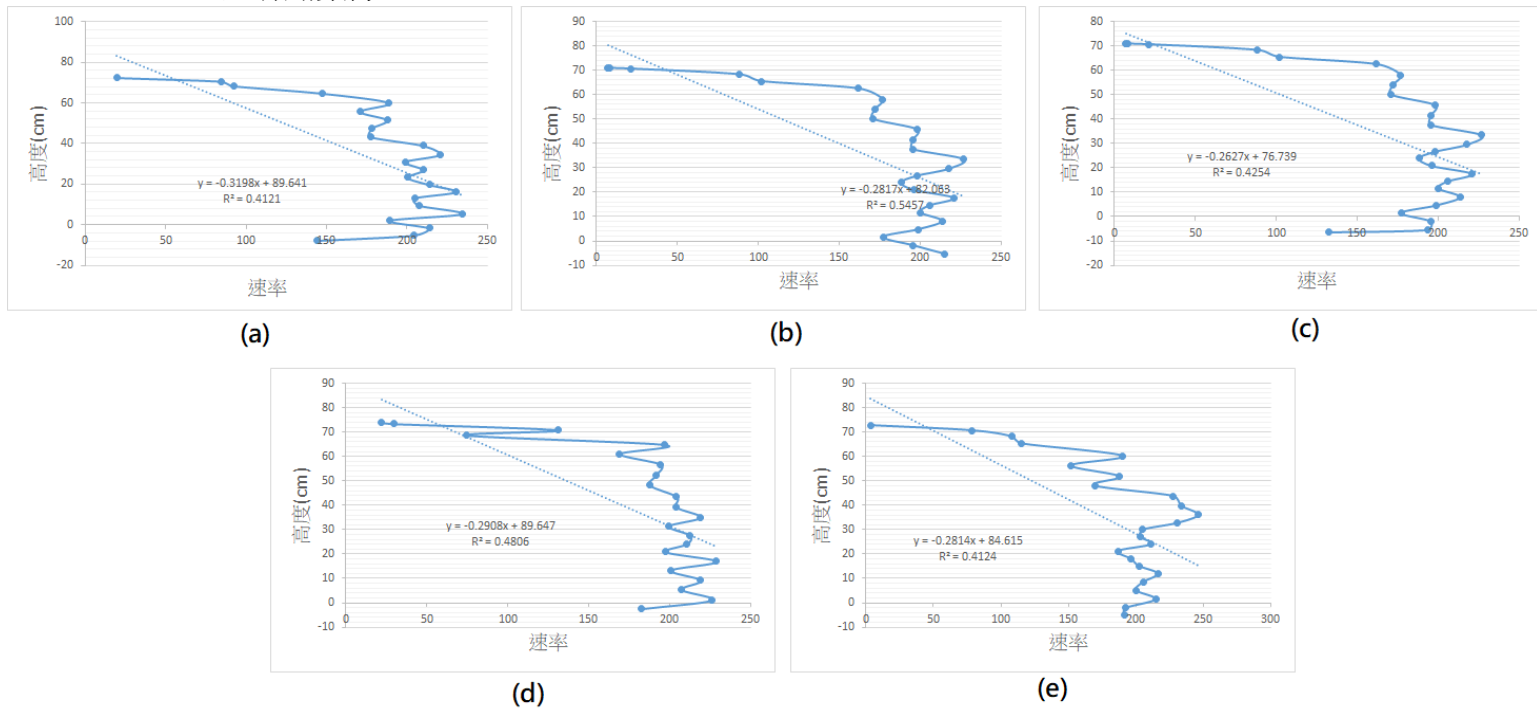


圖 5-16 C50 組高度與速率變化圖 實驗次數 10 次，取其中 5 組

C50 一開始速率增加，到了約 30 公分處速率達最高峰(約 200-250 之間)，後續速率緩慢下降達到 150-200 之間(圖 5-16)。

7. 無絲線模式的飛行數據

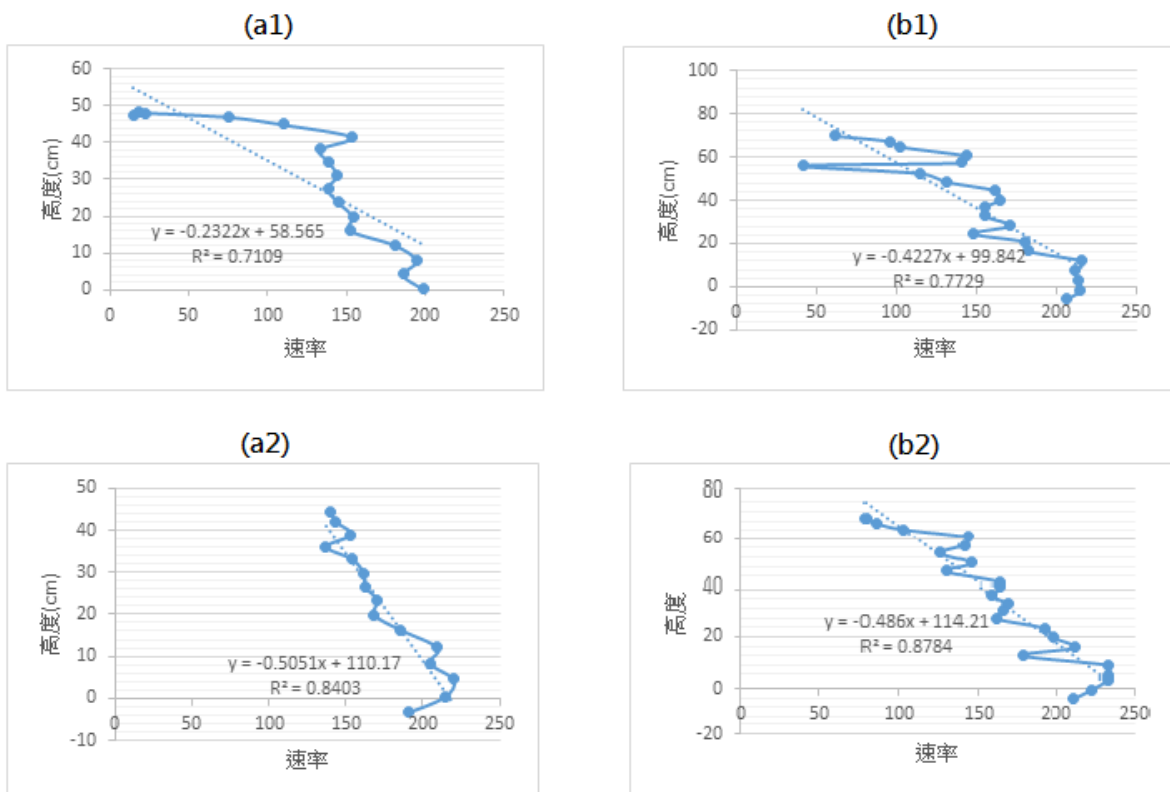


圖 5-17 無絲線模式高度與速率變化圖 實驗次數 2 次，(a)50 公分高處起飛以及 (b)70 公分高處起飛

去除掉絲線的影響，我們發現無絲線模式下，模擬幼蛛在將落過程中持續加速，速率與高度的關係呈現正相關， R^2 值達 0.8783。最終速率達 200 到 250cm/s 左右。有絲線模擬幼蛛的速率與高度相關性 R^2 值都大多不超過 0.5。

8. 飛行距離數據

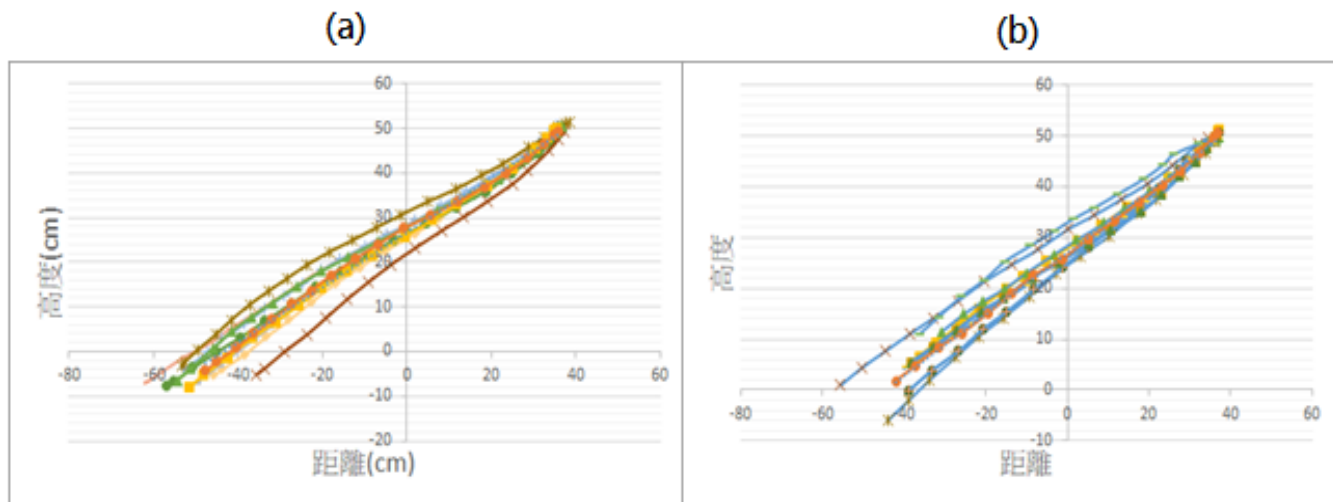


圖 5-18 飛行軌跡圖(50 公分處起飛) 實驗次數 10 次，(a)A 組、(b)C 組

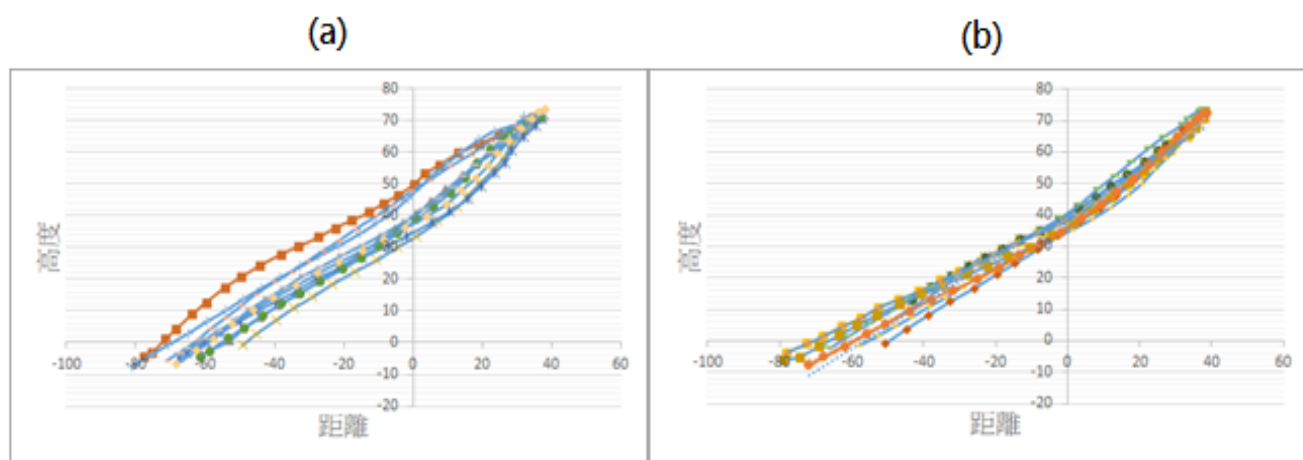


圖 5-19 飛行軌跡圖(70 公分處起飛) 實驗次數 10 次，(a)A 組、(b)C 組

在絲線的輔助下，從 50 公分起飛的飛行距離皆位於 40 到 60 之間(圖 5-18)，而 70 公分的高度起飛時，飛行距離皆位於 100 到 120 公分內(圖 5-19)。

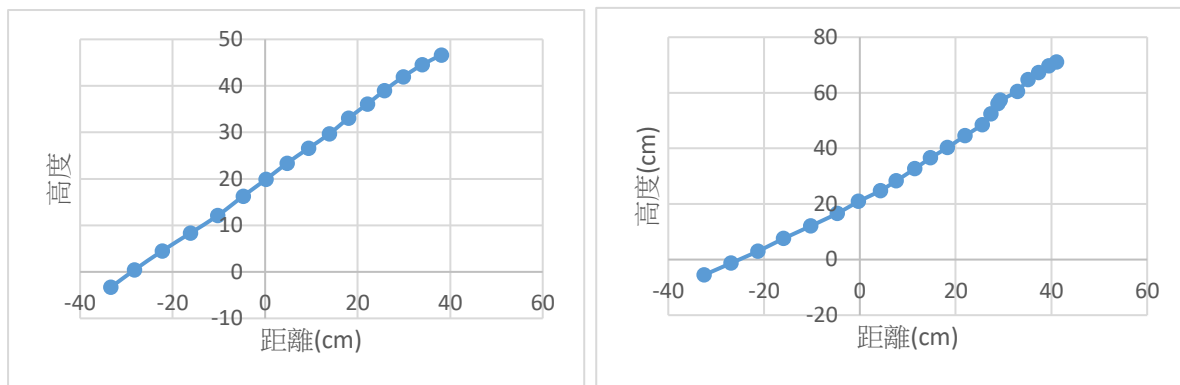


圖 5-20 無絲線飛行軌跡圖(70 公分處起飛) 實驗次數 1 次，(a)50 公分處起飛、
(b)70 公分處起飛

沒有絲線的模擬蛛從 50 公分和 70 公分起飛的蜘蛛皆落在距離 60 到 80 公分內。

(二)仿生大姬蛛滑翔模式統整

1、從表 5-1 的統整數據可以發現，水平飛行距離前三名為：b70(30cm) > C70(40cm) > a70(20 cm)，滑降比的前三名為：b50(30cm) > a50(20cm) > b70(30cm)。

表 5-1 仿生大姬蛛飛行軌跡飛行水平距離以及滑降比

組別	飛行水平距離(cm)	滑降比
a50(20cm)	78.399	1.56798
a70(20cm)	97.251	1.3893
b50(30cm)	79.3945	1.58789
b70(30cm)	107.262	1.532319
c50(40cm)	76.487	1.52974
c70(40cm)	104.592	1.494171
50	61.685	1.2337
70	79.6	1.13714

2、根據仿生大姬蛛飛行實驗結果，我們觀察到仿生蜘蛛飛行時期的速率變化有 3 個階段，如圖 5-21。

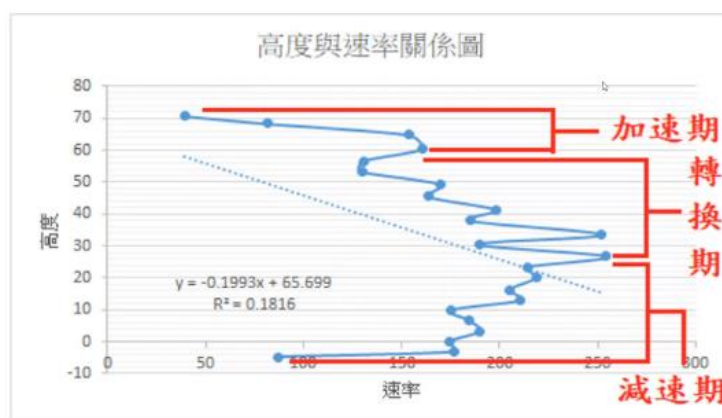


圖 5-21 仿生大姬蛛飛行時期的速率變化 3 個時期

(1)加速期：這是幼蛛剛起飛的時候，這時的幼蛛會迅速加速。

(2)轉換期：這時幼蛛速率不定，忽快忽慢，但速率還是持續增加中，直到速率達到最快。

(3)減速期：幼蛛會在快慢不定下逐漸減速。

陸、討論

一、在做生態調查研究時我們是從九月到三月進行調查，4月到8月我們並沒有完整的數據得知大姬蛛卵囊和蜘蛛的數量在春天與夏天的數量變化，我們會陸續追蹤調查記錄。

二、觀察過程中另外也發現大姬蛛從與雄蛛同網到產下卵囊期間似乎有規律，關於大姬蛛的繁殖週期是我們想進一步去探討的主題。

三、在飼養箱種類與其蜘蛛團擴散的天數、正與側最大面積天數實驗時，我們定義擴散總天數為卵囊附近蜘蛛數量小於4隻的時間為擴散期的最後一天。實驗結果中發現在箱內人工網2的數據中，達峰天數不一致，並明顯與其他五組不同，我們推測，若不是實驗的誤差，便有可能是人工網影響大姬蛛幼蛛的移動路徑，值得進一步調查。

(一)單面面積變化：我們觀察的6組蜘蛛團全在8天以內完全擴散。一開始大部分雙面面積有上升的趨勢，在中間出現沒有特定規則的面積大小起伏。

1、箱內自然網的蜘蛛團雙面從第二天以後出現面積變化相似的線條，故雙面相關性的 R^2 值有達0.6347與0.8443。兩組箱內自然網到了第5天為最大峰，之後維持不變或下降。箱內自然網1的正面積大小在第2天超過側面積大小，可能表示整體蜘蛛團的比例水平拉長。正左右長度比正上下長，在這一天又超越側左右距離，更能證明以上推測。第3天到第7天維持接近等比例擴大和縮小。

2、箱內人工網的雙組蜘蛛團正面都有在第3天達最大面積，第4天又大幅下降，第5天又達到第二個面積高峰的情況。在箱內人工網1的蜘蛛團的長寬距離變化明顯觀察第4天的正上下與正左右同時下降後上升，側面面積與側面長與寬同時上升後下降，可能代表此刻的蜘蛛團會先出現拉長並且變大的形狀，後來側面平穩縮小，正面積又出現被拉長的形狀。箱內人工網2的正左右長度縮短，正上下卻上升，立體的形狀發生比例的變化。

3、自然網蜘蛛團達峰天數，總需時間都是三組中最少的，我們推測可能自然環境下空氣的流動比箱內自然網還大，可能是促使幼蛛離開網的動力。

我們從實驗得到的結論是：蜘蛛會在不同環境下，蜘蛛團會有所因應的變化。所以，推測蜘蛛在自然環境下可能也會隨著周圍環境因素，而有不同形狀之對應關係。

四、在蜘蛛飛行模擬實驗中，有絲線的模擬蜘蛛落地距離大於無絲線的模擬蛛，最快速率皆位於 200 到 250cm/s，落地速率卻降到 150-200 cm/s 之間。相較於無絲線的模擬蛛，最快速率同樣是 200 到 250 cm/s 間，但落地前速率不會減低，推測有絲線輔助的蜘蛛能在落地前有較平穩的降落，較有利其擴散生存。同時，在此實驗中，我們分別做了 20、30、40、公分的絲線模擬，得知其中與模擬蜘蛛飛行距離與速率並無差距，所以，推測蜘蛛用最短絲線 20 公分輔助其飛行，可能是為了減少吐絲能量消耗，甚至絲線長度可能會比 20 公分更短。但我們還沒有足夠時間進行這部分的模擬。研究實際蜘蛛吐絲長度與仿生比較，是未來可以研究的方向之一。

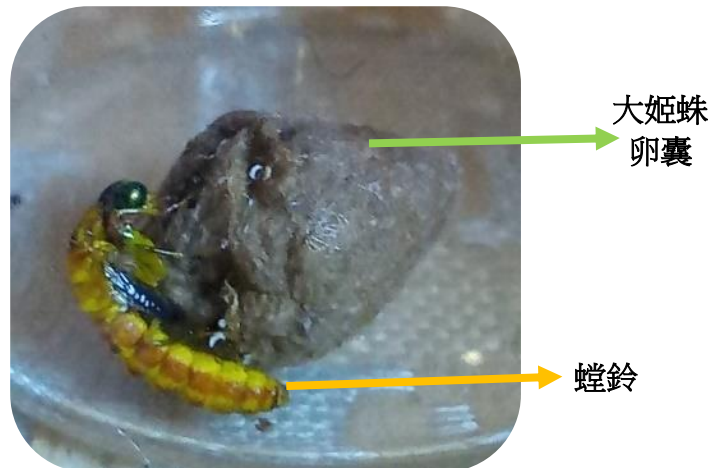
五、模擬大姬蛛幼蛛的個體加上絲線時，因測量儀器之局限，無法測量幼蛛的實際重量。故我們在模擬時，以半徑 1.5mm 保麗龍球模擬，也非幼蛛實際之型態。但能藉由此模擬實驗推測出幼蛛在不同絲線長短與起飛高度受到的影響，與風力之間的相關性。關於幼蛛與環境的關係是否還會受到風向、天氣、濕度、光罩、磁場等環境因素，而影響牠在網上的移動與起飛時機，都是我們接下來要研究的目標。

六、研究過程的插曲，我們在研究卵囊時，意外的發現寄生蟲。而在觀察後，我們猜測那是螳蛉，而過去似乎從來沒有觀測到類似的情形。我們覺得很有趣，因為我們觀察到在螳蛉孵化前有疑似若蛛跑出卵囊的情形，也許可以多加觀察。

我們起初發現卵囊時，是為了將卵囊做幼蛛擴散的實驗而準備採集。初始的卵囊是下方出現了如右圖白色圈圈處的白色突起。我們起初以為那是小蜘蛛即將孵化的痕跡。而在三天內，那些痕跡就遍佈了整個卵囊，甚至也一些白色物掉落在我們盛裝蜘蛛卵囊的小玻璃罐內。



等到這隻寄生蟲孵化大概孵化是在 5/28 晚上十點間到 5/29 早上 6 點間，孵化後開始試圖推開卵囊站起來，長度大概是在一公分，腹部有黑色物(白色圈圈處)。而卵囊上也看得出仍有白色突起物的痕跡，而卵囊上有一個破口，上頭有毛絮狀物。



隔天，也就是 5/30 日早晨，它第一次脫殼，也將之前提到的黑色物排出體外。而隔一天的禮拜一下午開始，它開始啃食卵囊的外殼，而到九點時啃出一個洞。洞裡露出之前看過的白色物，堆堆積積數量十分可觀。而幾天以來它不斷地啃食，後來卵囊裡長出黴菌。而這它也在一個禮拜內死亡。



附註：寄生於大姬蛛卵囊的昆蟲-螳鈴(*Mantispidae*)

界	動物界 <i>Animalia</i>	分布：熱帶以及亞熱帶
門	節肢動物門 <i>Arthropoda</i>	
綱	昆蟲綱 <i>Insecta</i>	體長：5-47mm
目	脈翅目 <i>Neuroptera</i>	部分種類的螳鈴幼蟲尋找女性蜘蛛或它們的卵囊然後他們進入；然後金龜子形幼蟲以蜘蛛卵為食，通過由改良的下頷骨和上頷骨形成的穿刺/吸管排出卵內的物質，在卵囊中化蛹。一齡螳螂使用兩種策略來定位蜘蛛卵：幼蟲可以直接鑽入它們發現的卵囊的絲中，或者它們可以在卵囊產生之前登上並被雌性蜘蛛攜帶（潛行），進入卵囊。建造。
科	螳鈴科 <i>Mantispidae</i>	



柒、結論

- 一、分布研究：根據研究結果，在我們選擇的微棲地內大姬蛛的跟濕度和溫度沒有太大的關係，活動中心側樓梯間一和二樓層能觀察到的數量最穩定，牠主要分布在最低層的窗框。卵囊在冬季(11月、12月)平均數量最多，大姬蛛的數量在三月達最高峰。
- 二、蜘蛛團觀察：孵化後蜘蛛團形狀變化從正和側面面積的角度分析，大多數蜘蛛團的長與寬呈現高度相關性，而蜘蛛團會有面積放大或縮小的情形。擴散期總天數為自然網最快(平均 4.5 天)，但箱內人工網與箱內自然網在實驗中並無顯著差距(平均 7 天)。擴散速度的觀察結果顯示，在自然網上擴散至最大面積所需天數最短(1.5 天)，箱內人工網其次(3 天)，箱內自然網最長(5 天)。

三、飛行實驗結果：有絲線輔助會減緩它飛行中的速率，並協助他飛到更遠的距離。若無絲線輔助，蜘蛛飛行距離較短，並加速落下。有絲線的蜘蛛最大飛行速率皆在 200-250cm/s 之間，落地前的速率位於 150-200cm/s，飛行距離因起飛的高度而同樣有差異，而絲線的長度(20-40cm) 與蜘蛛的飛行距離並無差異。

四、根據飛行實驗結果，我們定義蜘蛛飛行時期的速率變化有 3 個階段。

(一)加速期：這是幼蛛剛起飛的時候，這時的幼蛛會迅速加速。

(二)轉換期：這時幼蛛速率不定，忽快忽慢，但速率還是持續增加中，直到速率達到最快。

(三)減速期：幼蛛會在快慢不定下逐漸減速。

捌、參考資料 (文獻) 及其他

- 一、Sheldon, Kimberly & Zhao, Longhua & Chuang, Angela & Panayotova, Iordanka & Miller, Laura & Bourouiba, Lydia. (2017). Revisiting the Physics of Spider Ballooning.
- 二、Humphrey J. A. (1987). Fluid mechanic constraints on spider ballooning. *Oecologia*
- 三、Cho, M., Neubauer, P., Fahrenson, C., & Rechenberg, I. (2018). An observational study of ballooning in large spiders: Nanoscale multifibers enable large spiders' soaring flight. *PLoS biology*,
- 四、Kil Won Kim. (2000). Dispersal Behaviour in a Subsocial Spider: Group Conflict and the Effect of Food Availability. *Behavioral Ecology and Sociobiology*,48(3), 182-187.
- 五、潘冠竹、甘瑀涵、楊子毅(2019年)。「蜘蛛」來「織「趣」-大姬蛛不規則網之拓撲探究。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會作品說明書。

【評語】 030303

1. 本研究主要探討大姬蛛在校園分布並設計實驗箱研究其卵囊中的幼蛛孵化後移動散佈模式，而且仿製蜘蛛絲線，觀察仔細且使用儀器追蹤測量幼蛛離網軌跡，並以繪圖與模型呈現擴散模式，表達能力佳。參與研究的學生認真、詳細思考用模型與數學模式來推演動物在自然環境的行為，令人鼓舞。
2. 有鑒於幼蛛的飛行數據明顯取決於物理特性（即高度，風力等），因此本次研究所觀察到的數據到底能夠提供哪些新的想法或是增加學生對自然生態變化的了解，應該要再提出思考的方向。舉例來說，如果改變幼蛛的飛行行為是否會對整個租群或是這一區的蛛群有何影響？鼓勵學生在獲得這些數據之後可以思考這對生物的意義何在。
3. 實驗目的和方法需做更具體有關聯性的說明，計數很多實驗數據，但數字代表的意義與原先實驗的目的及假說有何關聯性為何？需進一步說明。例如：對校園內蜘蛛數量的調查，須說明如何得到數據？蜘蛛會移動，如何定時定點確定得到數量的正確性？文獻探討介紹之蜘蛛熱氣球與本研究之關聯性為何？利用現代科技紀錄蜘蛛結網的過程及飛行路徑，繪製這些圖形的意義為何？作者很用心記錄很多數據，可惜缺乏科學邏輯的方法與陳述以致所得數據與結論缺少說服力，甚是可惜。

作品簡報



百家「蛛」子

大姬蛛幼蛛擴散之研究

組別：國中組

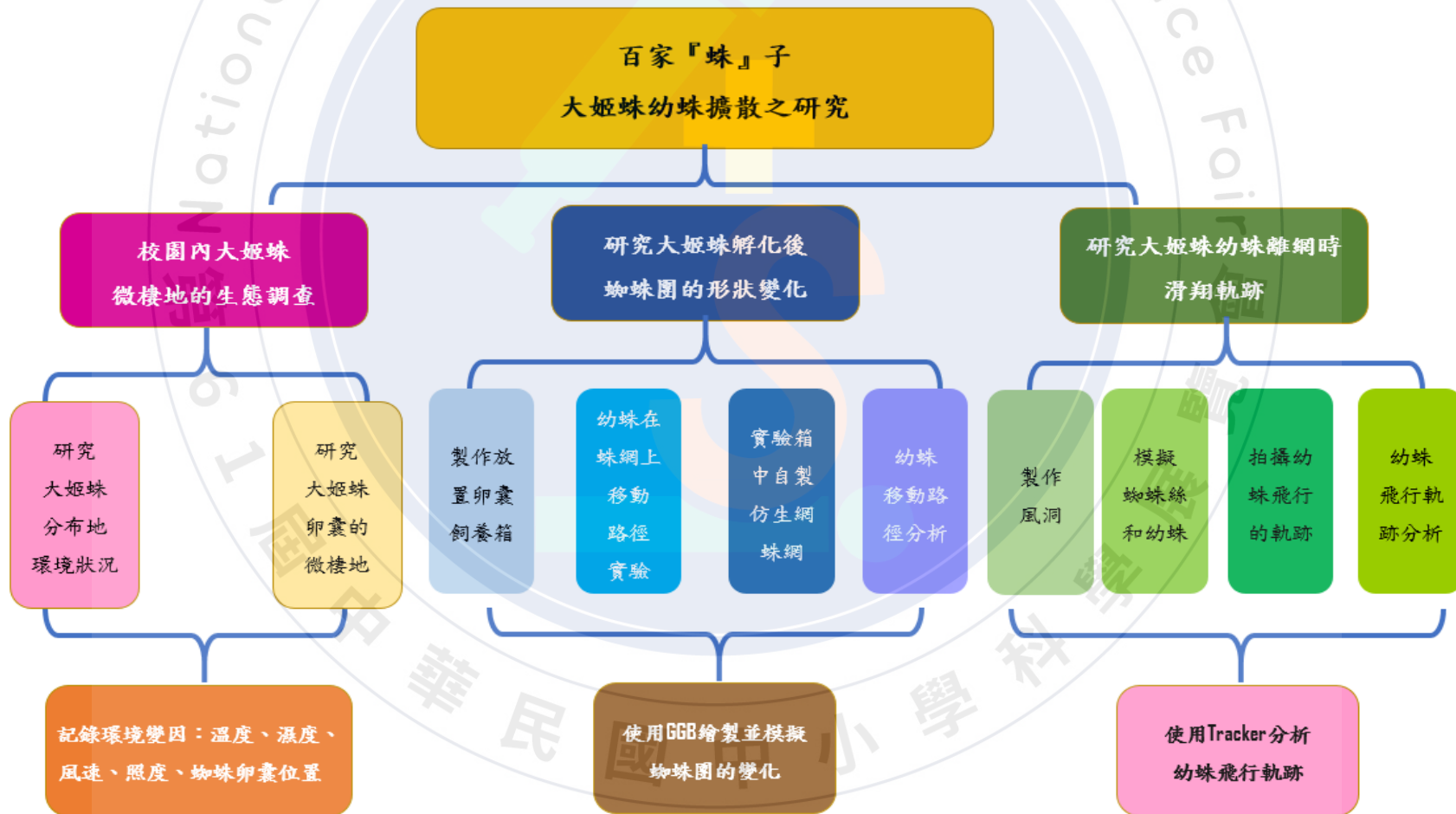
科別：生物科

壹、研究動機

校園內最常見的蜘蛛是大姬蛛，偶爾下課經過就會發現大姬蛛之網在校園各處，有一些甚至有米色的水滴型卵囊，這讓我們好奇大姬蛛幼蛛孵化後會去哪裡。

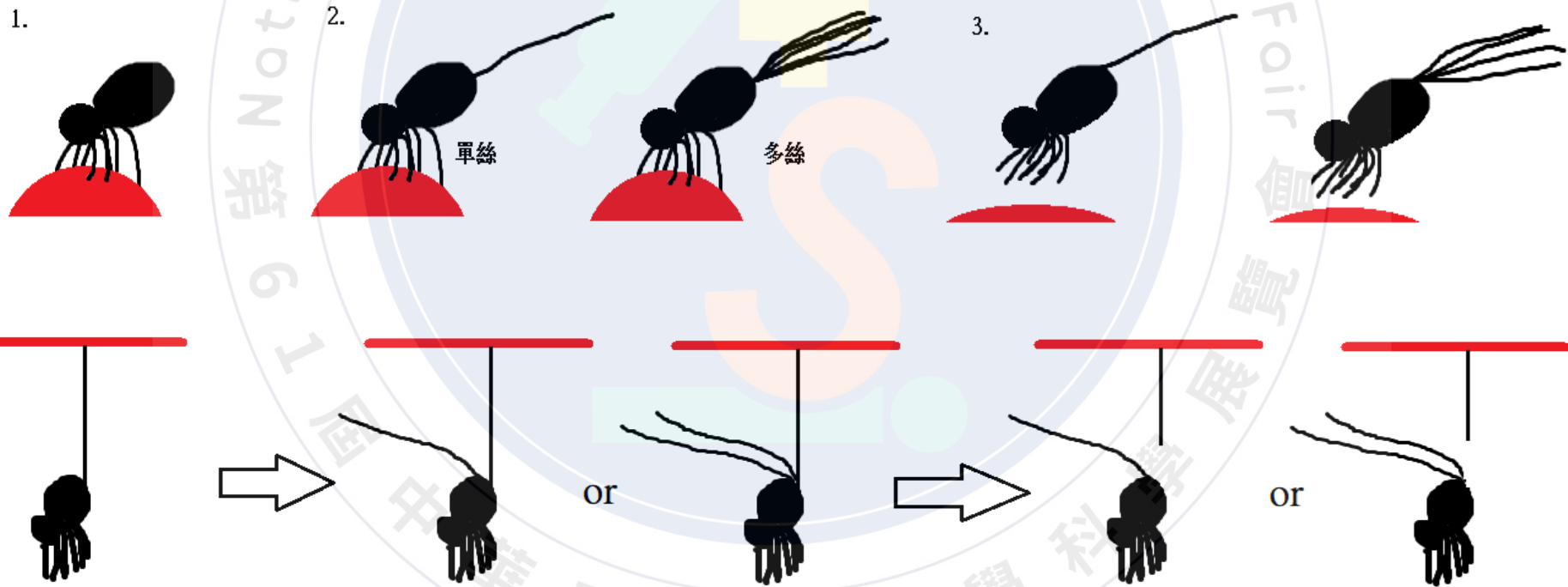
貳、研究目的及研究問題

- 一、分析大姬蛛在校園內分布地的環境狀況
- 二、研究大姬蛛幼蛛的孵化後擴散速度與軌跡
- 三、研究大姬蛛幼蛛離網時的滑翔軌跡



何謂蜘蛛熱氣球(spider ballooning)?

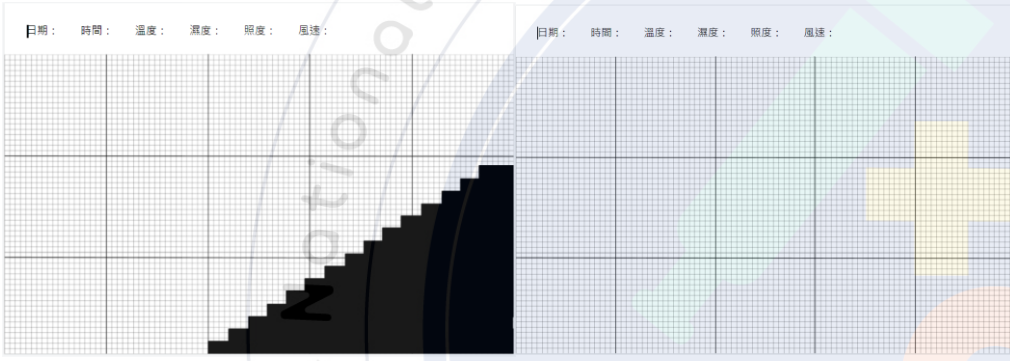
蜘蛛熱氣球是一種行為，泛指蜘蛛從腺體吐絲，而後飛起的行為，因此就算是單蜘蛛起飛也稱作蜘蛛熱氣球，並非一定要一整群如熱氣球狀起飛。



參、研究過程以及研究結果

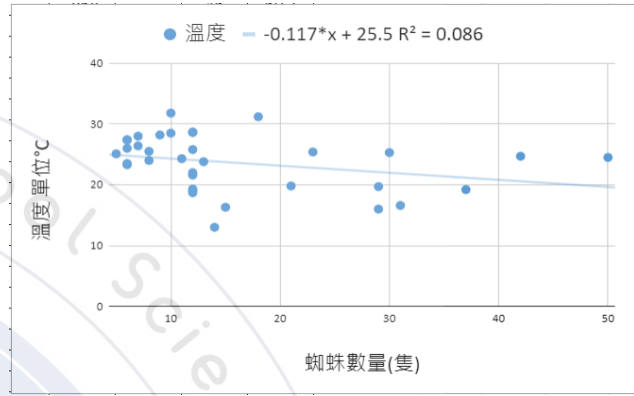
一、分析大姬蛛在校園內分布地的環境狀況

總共紀錄時間、溫度、濕度、風速、光度和蜘蛛與卵囊位置等六項。

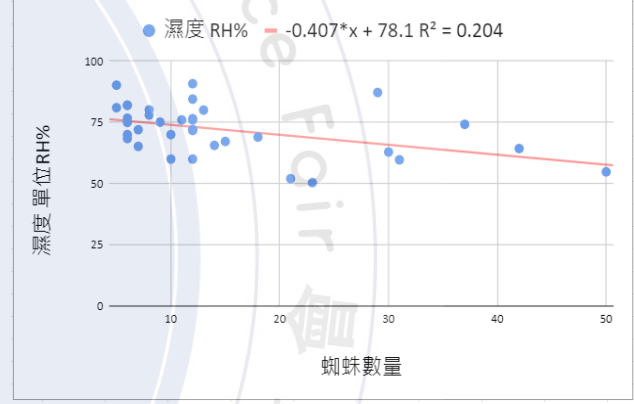


活動中心側樓梯間自製分布表

利用實心的圓形代表蜘蛛，空心圓形代表卵囊，不規則形狀代表獵物。

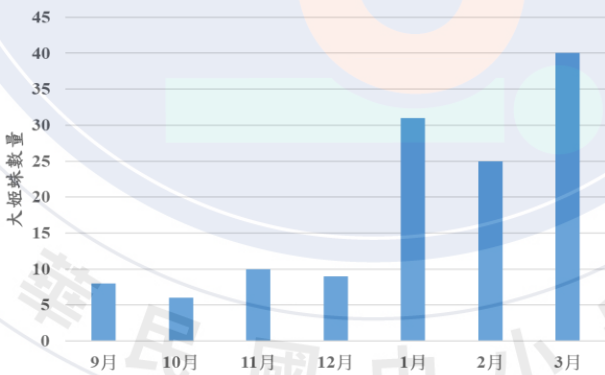


溫度與大姬蛛數量關係圖



濕度與大姬蛛數量關係圖

結果：
溫度與濕度和大姬蛛數量
之間沒有明顯關係。



大姬蛛總數量變化長條圖



大姬蛛平均卵囊數量長條圖

參、研究過程以及研究結果

二、幼蛛網上擴散路徑

每天拍攝正與側兩個角度



自然網(正)



箱內自然網(正)



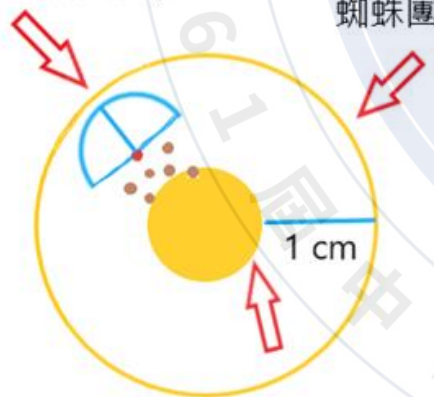
箱內人工網(正)

參、研究過程以及研究結果

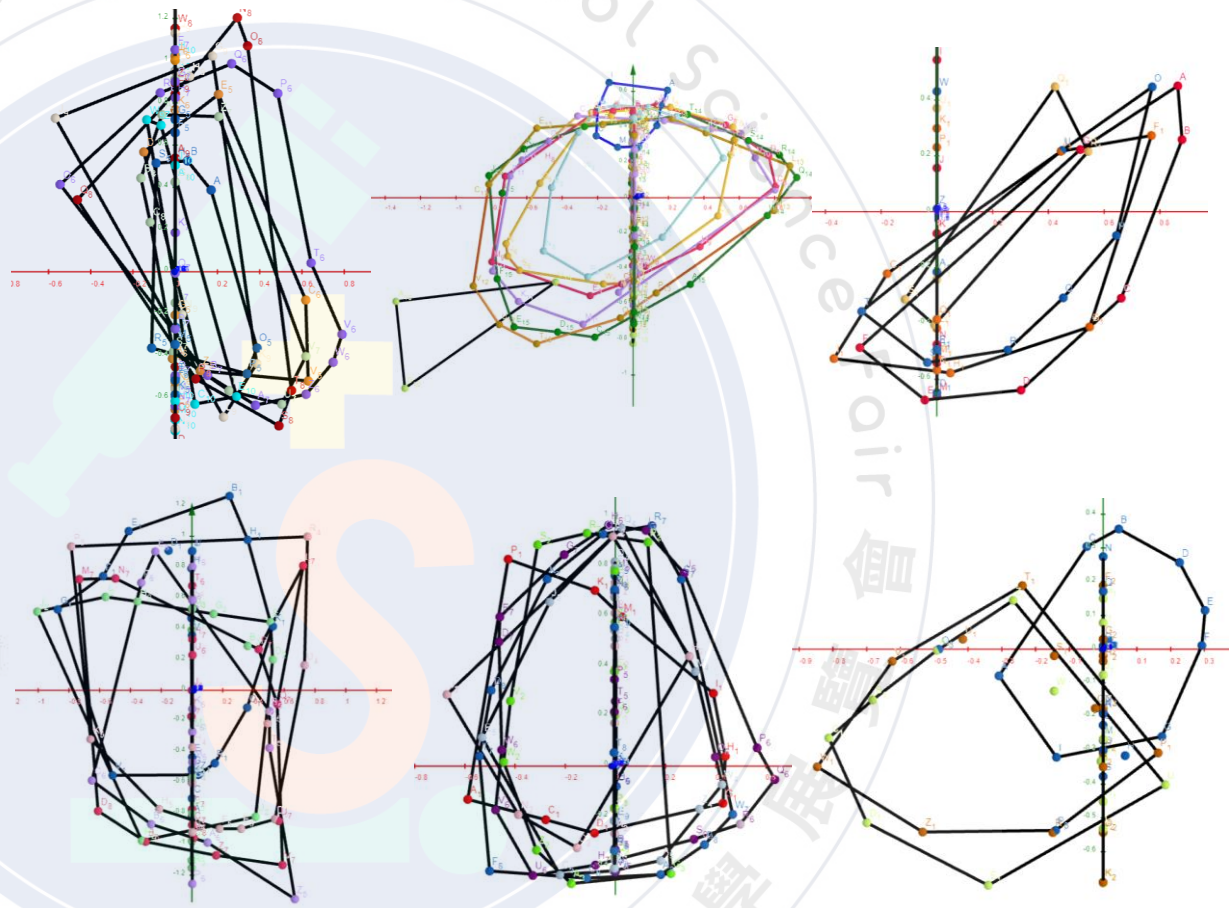
二、幼蛛網上擴散路徑



外圍蜘蛛(向外半徑
0.5cm半圓內無蜘蛛)



蜘蛛團範圍



箱內人工網

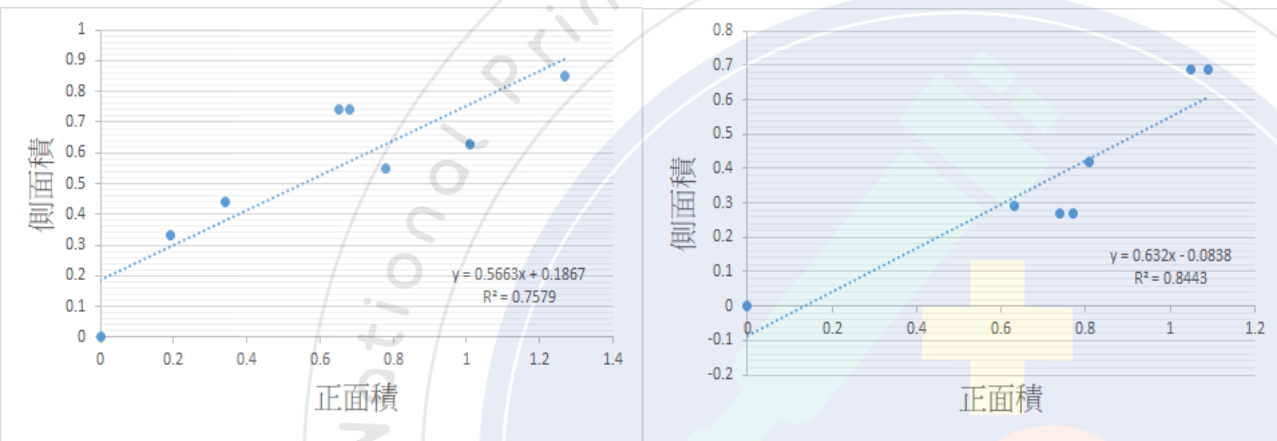
箱內自然網

自然網

定義

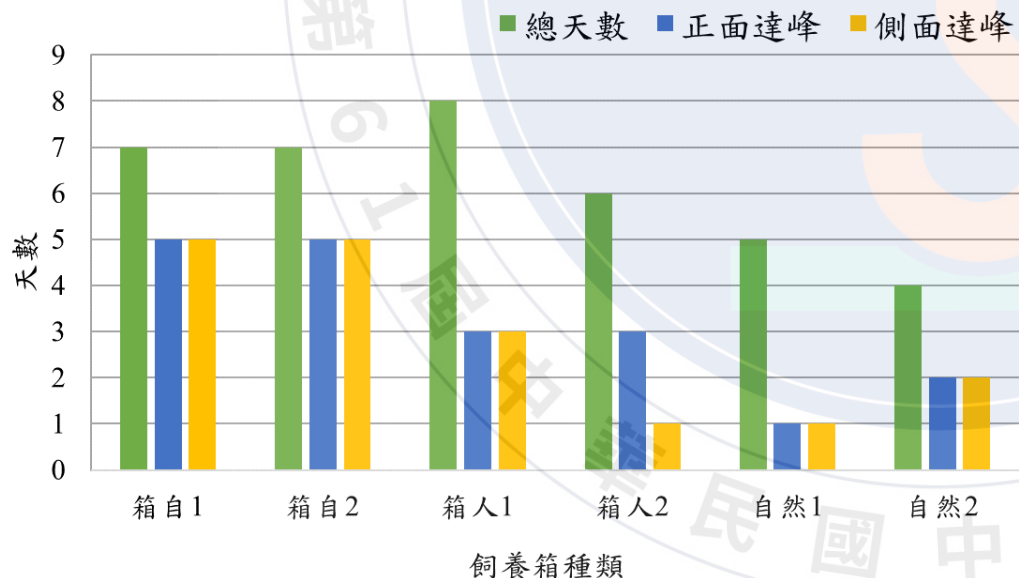
參、研究過程以及研究結果

二、幼蛛網上擴散路徑



蜘蛛團的正面積和側面積相關性比較圖

結果：
此兩張表格顯示正側面會同時擴大。



大姬蛛幼蛛擴散天數長條圖

結果：

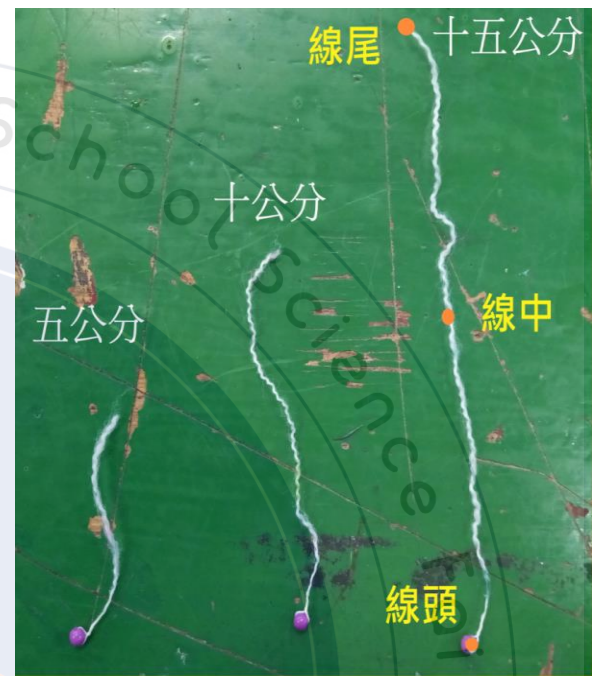
1. 蜘蛛團的擴散到了最大，至一定大小就會固定形狀，而後幼蛛便會在短時間內迅速跑走。
2. 蜘蛛團的擴散會雙面同時擴大。
3. 幼蛛離網速率：自然網 > 箱內自然網 = 箱內人工網。

參、研究過程以及研究結果

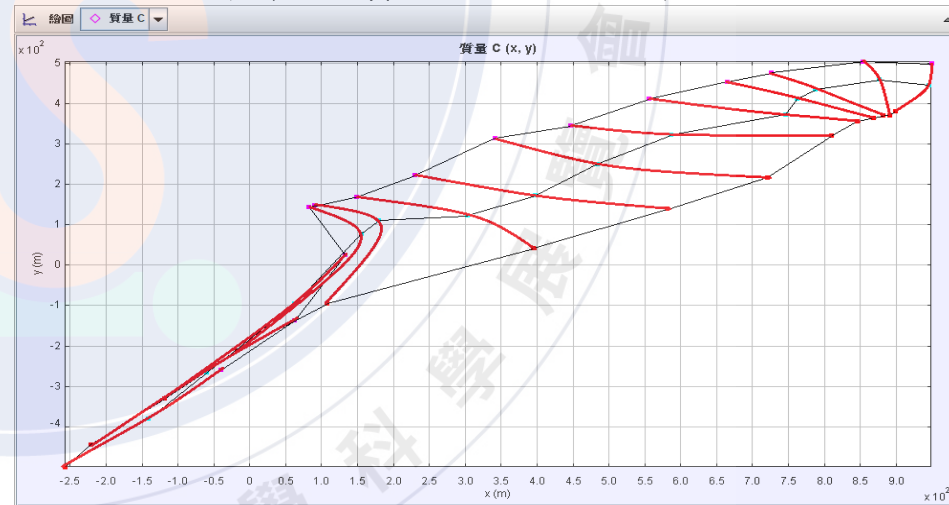
三、研究大姬蛛幼蛛離網時的滑翔軌跡



實驗場地



在第一次實驗裡使用的模擬蛛絲



第一次實驗的分析圖

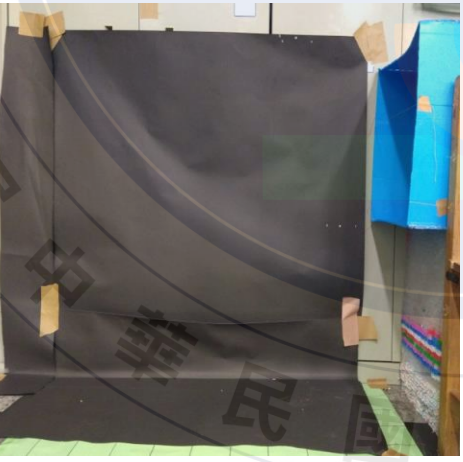
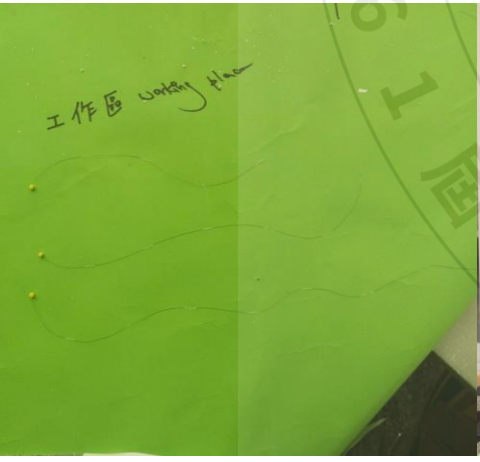
第一次實驗時，我們用1/4股的壓克力線製作絲，塑膠球當作大姬蛛幼蛛。

參、研究過程以及研究結果

三、研究大姬蛛幼蛛離網時的滑翔軌跡

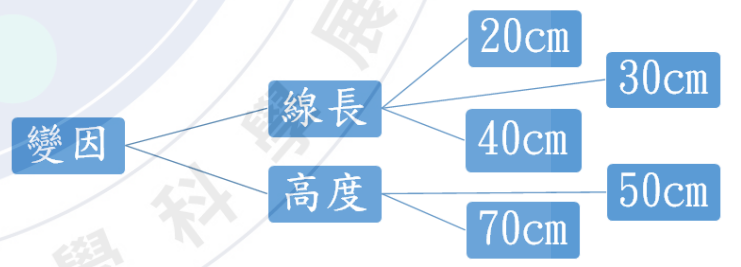
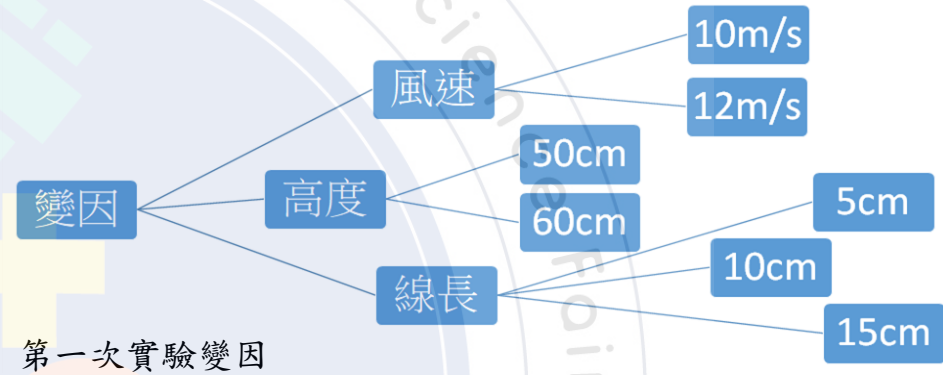


增加了一組整流器及電風扇



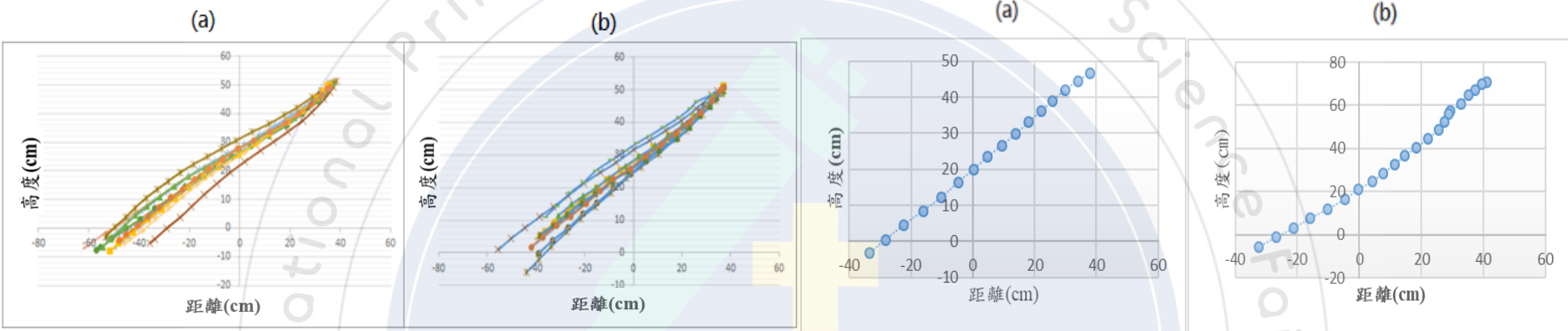
使用頭髮來進行第二次實驗

實驗場地



參、研究過程以及研究結果

三、研究大姬蛛幼蛛離網時的滑翔軌跡



有絲線大姬蛛幼蛛飛行軌跡圖(50公分處起飛) (a)A組、(b)C組

無絲線飛行軌跡圖(70公分處起飛 (a)50公分處起飛、(b)70公分處起飛

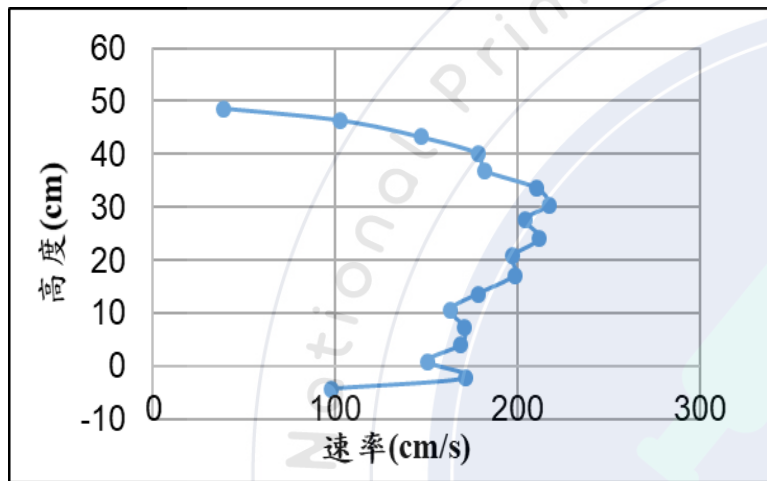
仿生大姬蛛飛行軌跡飛行水平距離以及滑降比

組別	飛行水平距離(cm)	滑降比
a50(20cm)	78.399	1.56798
a70(20cm)	97.251	1.3893
b50(30cm)	79.3945	1.58789
b70(30cm)	107.262	1.532319
c50(40cm)	76.487	1.52974
c70(40cm)	104.592	1.494171
50	61.685	1.2337
70	79.6	1.13714

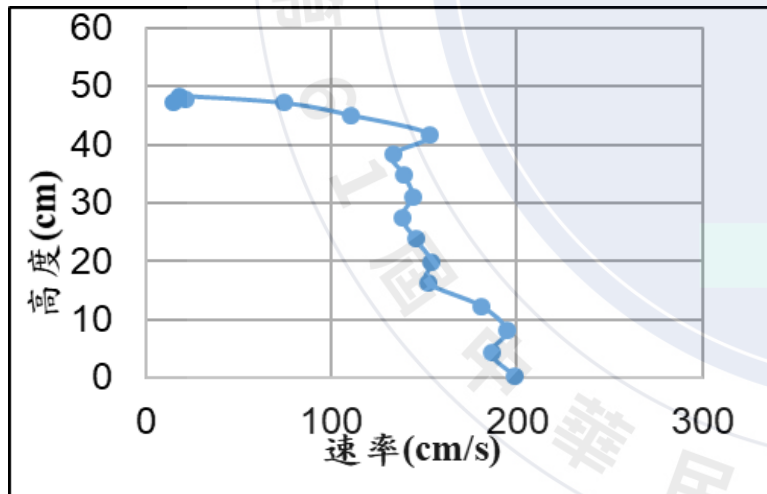
結果：
有絲線的仿生幼蛛其較沒有絲線的仿生幼蛛，可滑翔的距離更遠。

參、研究過程以及研究結果

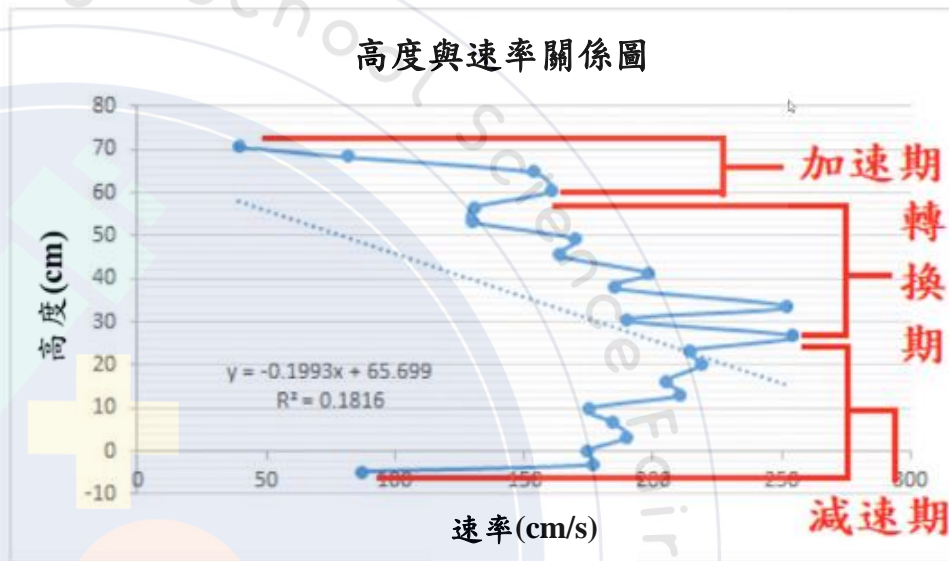
三、研究大姬蛛幼蛛離網時的滑翔軌跡



仿生大姬蛛幼蛛50公分高度起飛(有絲線)



仿生大姬蛛幼蛛50公分高度起飛(無絲線)



仿生大姬蛛飛行時期的速率變化3個時期

結果：

- 1.有絲線的模擬蜘蛛落地距離 > 無絲線的模擬蜘蛛。
- 2.有絲線輔助的蜘蛛在落地前速率會減低，能較平穩的降落。
- 3.仿生蜘蛛飛行時期的速率變化有3個階段：
(1)加速期、(2)轉換期、(3)減速期。

肆、討論

一、在飼養箱種類與其蜘蛛團擴散實驗時，結果中發現在箱內人工網達峰天數不一致，並明顯於其他五組不同，可能是人工網影響大姬蛛幼蛛的移動路徑，值得進一步調查。自然網蜘蛛團達峰天數，總需時間都是三組中最少。我們推測可能自然環境下空氣的流動最大，促進幼蛛用飛行方式離開網的動力。推測蜘蛛會隨著周圍環境關係，而有蜘蛛團不同形狀之對應。

二、在蜘蛛飛行模擬實驗中，有絲線的模擬蜘蛛落地距離 > 無絲線的模擬蜘蛛，有絲線輔助的蜘蛛在落地前速率會減低，能較平穩的降落，較有利其擴散生存。在此實驗中，我們得知其中飛行距離為30公分絲線最遠，推測蜘蛛絲線與蜘蛛質量有最佳飛行組合。實際蜘蛛吐絲長度，是未來可以研究的方向之一。

三、未來展望：我們極想探究關於如何較精準模擬大姬蛛起飛方式和運用靜電的蜘蛛熱氣球，並可應用在小型的飛行器上，使用蜘蛛的擴散方式，製作出簡易方便的飛行器。

伍、結論

一、大姬蛛主要分布在最低層的窗框。卵囊在11月、12月平均數量最多，大姬蛛的數量在三月達最高峰。

二、蜘蛛團的擴散會經歷多次的放大與縮小，至一定大小就會大致固定形狀，蜘蛛團的擴散會雙面同時擴大。幼蛛離網速率：自然網 > 箱內自然網 = 箱內人工網。

三、模擬大姬蛛幼蛛離網時有絲線輔助會減緩它飛行中的速率，若無絲線輔助，蜘蛛飛行距離較短，並加速落下。有絲線的蜘蛛最大飛行速率皆在200-250cm/s之間，落地前的速率位於150-200cm/s。

陸、參考資料

一、Sheldon, Kimberly & Zhao, Longhua & Chuang, Angela & Panayotova, Iordanka & Miller, Laura & Bourouiba, Lydia. (2017). Revisiting the Physics of Spider Ballooning.

二、Humphrey J. A. (1987). Fluid mechanic constraints on spider ballooning. *Oecologia*.

三、Cho, M., Neubauer, P., Fahrenson, C., & Rechenberg, I. (2018). An observational study of ballooning in large spiders: Nanoscale multifibers enable large spiders' soaring flight. *PLoS biology*.

