

# 中華民國第 54 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 生物科

**最佳創意獎**

080317

居「心」叵測的「姬」捕行動

學校名稱：高雄市左營區新莊國民小學

作者：  小五 彭莉棋  小五 陳翰琨  小六 曾柏諺	指導老師：  陳嘉雯  曾健評
---	-----------------------------

關鍵詞：日本姬蛛、捕獵行為、內心

# 居「心」叵測的「姬」捕行動

## 摘要

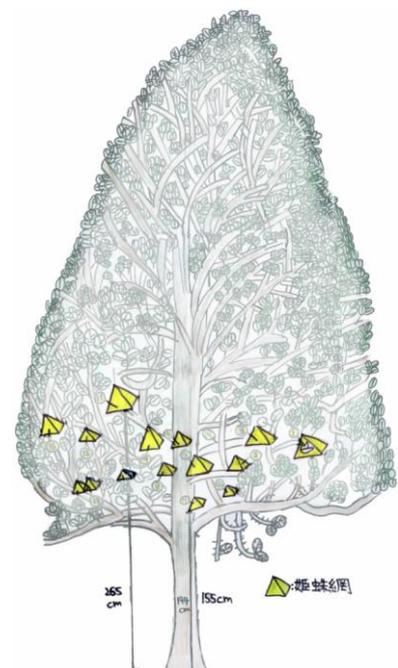
校園常見的日本姬蛛結的是立體網而非平面網，但對姬蛛的立體網與其捕獵行爲的了解很有限，我們於是進行調查與實驗。觀察野外蛛網的主要特徵包括：結不規則錐體網、網中有開口朝下的遮蔽物及立網下方有底網。測量野外的蛛網，發現姬蛛多棲息在左右和前後置中處，但僅一半有高度置中。若用方形容器飼養姬蛛，則姬蛛棲息在蛛網立體空間對稱的中央位置。從幾何概念推算，發現姬蛛多棲息於趨近於錐體網剖面三角形的內心處，此位置到三邊的距離最短，有利於察覺與快速捕獵。錐體網具傳遞振動、有效纏繞獵物和低穿透率的特性，而綿密的底網則可防止獵物掉落，皆能增加捕獵率。故日本姬蛛有絕佳空間概念且能依獵物狀況採取不同的捕獵策略，真是聰明啊。

## 壹、研究動機

我們在校園打掃時，發現一整排的矮榕樹圍籬空隙中，常有懸空的枯葉，枯葉吊在蛛網裡，有的枯葉上還有小蜘蛛。我們觀察到這些蛛網很特別，和一般書籍介紹的平面圓網很不同，蜘蛛的網除了棲息還可以捕捉獵物，牠們在結網時有什麼特別的設計嗎？五下的自然與生活科技第二單元「動物世界面面觀」探討動物的築巢及覓食行爲，我覺得觀察蜘蛛結網與如何捕獵一定很有趣，所以決定研究這些在校園中和我們一起生活，卻喜歡躲起來的可愛小生物。

## 貳、研究目的

- 一、觀察日本姬蛛結網的特性
  - (一) 結網的環境
  - (二) 蛛網的特徵
  
- 二、探討日本姬蛛棲息位置與捕獵行爲
  - (一) 棲息的空間概念
  - (二) 蛛網的幾何概念
  - (三) 棲息位置對捕獵的影響
  
- 三、探討日本姬蛛蛛網結構與捕獵行爲
  - (一) 蛛網的結構
  - (二) 蛛網的黏性與張力
  - (三) 蛛網的捕獵策略

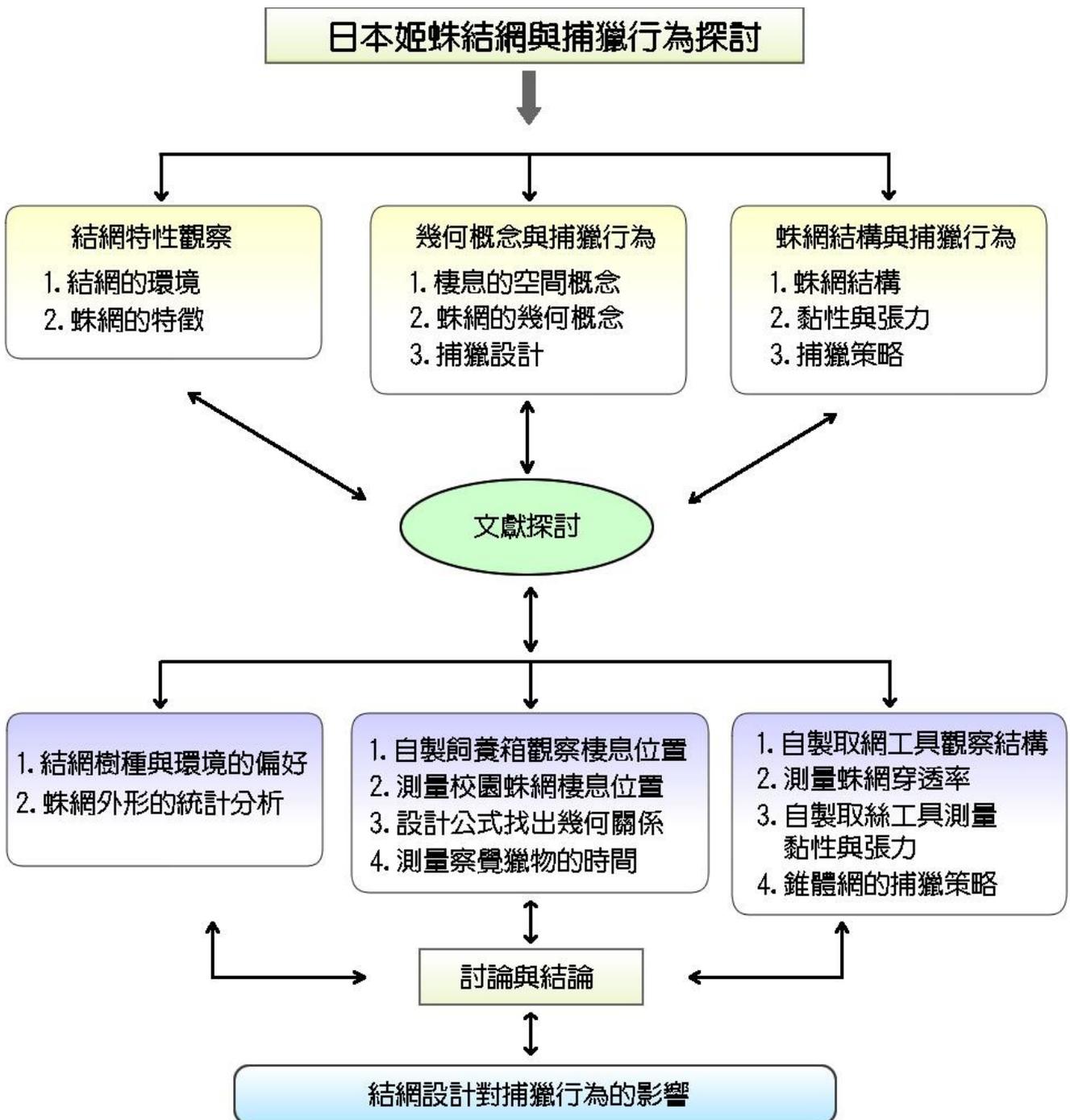


叁、研究設備與器材

飼養器材	盆栽、紙箱、黑色壁報紙、透明塑膠瓶、蒼蠅、小蟲
紀錄器材	錄影機、數位相機、腳架、電腦
觀察器材	解剖顯微鏡、光學顯微鏡、放大鏡、手電筒、噴水瓶
測量器材	捲尺、長尺、電子游標尺
實驗器材	透明壓克力箱、黑布、碼表、excel 軟體
採集器材	竹片、塑膠絲線、粗吸管、中空的磁鐵片、螺絲墊片、鐵絲、鑷子、剪刀

肆、研究方法

一、研究架構圖



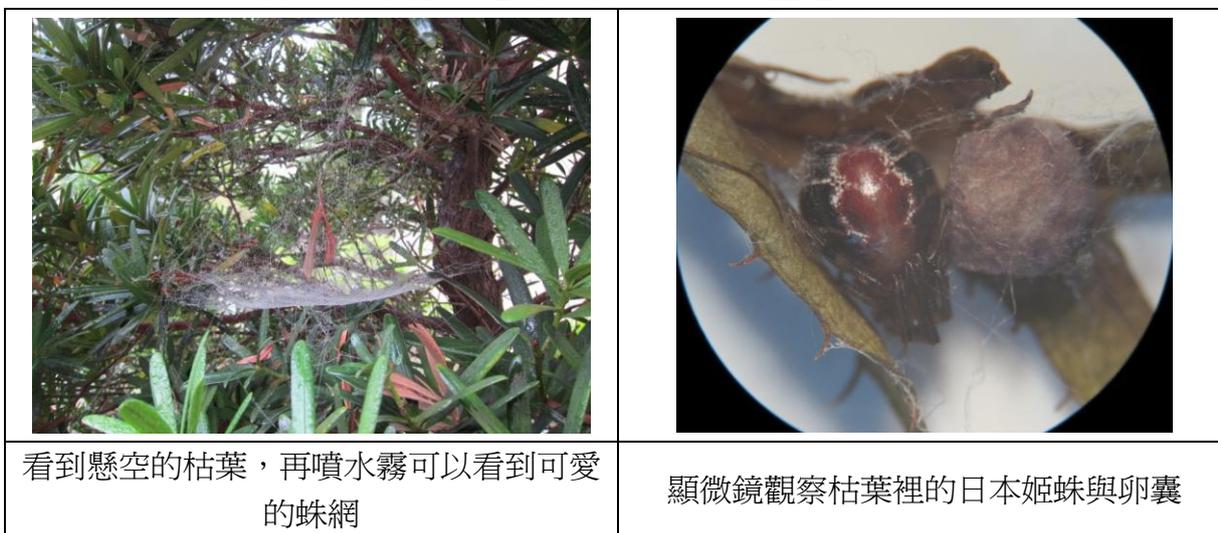
## 二、文獻探討

### (一) 認識日本姬蛛

日本姬蛛屬於動物界.節肢動物門.蛛形綱.蜘蛛目.姬蛛科。雌蛛體長約 4~5 mm。腹部圓球形，呈黃褐色，腹部背面有一個大型朱紅色心臟斑，其外緣鑲白邊，並向腹側分出另有一條白色斜紋，這是本種最容易辨認的特徵，個體間體色和斑紋差異大，雄蛛體長約 2~3 mm，體色和斑紋都和雌蛛相似（台灣生物多樣性資訊入口網，2013）。我們觀察校內日本姬蛛發現，大部份雌蛛腹背多呈黑色，有些腹背是黃褐色或橘色，也有少數是綠色，顏色有差異。

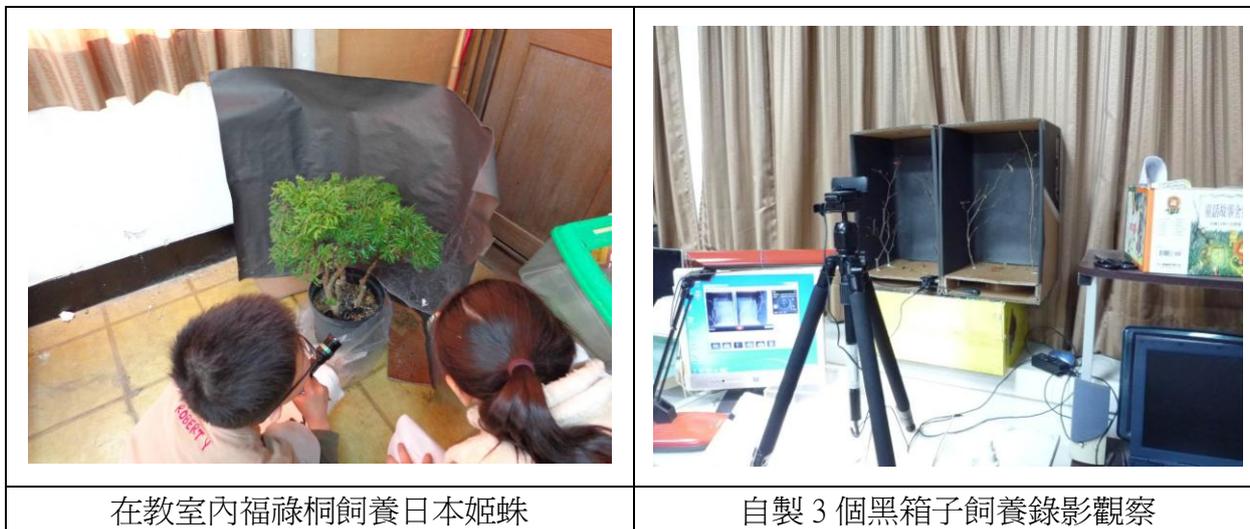
### (二) 結網與捕獵

目前科展相關研究發現日本姬蛛在自然環境中會結不規則雜亂立體網，將枯葉放在網的中心，並躲在枯葉裡等待蚊蟲(李侑謙、蔡亞軒，2006)。日本姬蛛的遮蔽物從棲息環境附近取得，搭網過程多變，無一定流程，會先用絲將獵物固定再拉至遮蔽物內食用(鍾承庭等，2009)。但是關於日本姬蛛蛛網的空間概念、結構及捕獵策略方面，目前沒有相關文獻，是我們想深入探討的主題。



## 三、飼養觀察：

(一) 教室內飼養數隻日本姬蛛，透過觀察紀錄、拍照及錄影，測量、比較與分析日本姬蛛結網的特性及捕獵策略。



(二) 在不同容器內飼養日本姬蛛，比較與分析棲息的空間概念。

- 1.自行設計製作壓克力正立方體**透明箱實驗**，在正立方體的透明箱子內，每次放入一隻蜘蛛，共**實驗** 5 次。
- 2.在圓柱體容器內各飼養一隻，比較分析日本姬蛛蛛網的幾何概念。



正方體(14.4\*14.4\*14.6cm)透明箱飼養測量



圓柱體容器的結網觀察

#### 四、校園調查與測量

(一) 調查日本姬蛛所在樹種、位置與型態，紀錄蛛網中是否有遮蔽物，用什麼材料遮蔽，遮蔽物開口的方向，測量相關數據作比較分析。



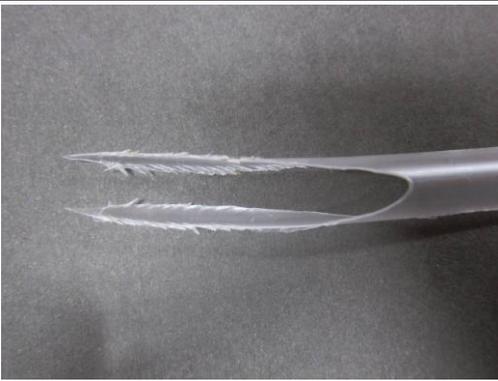
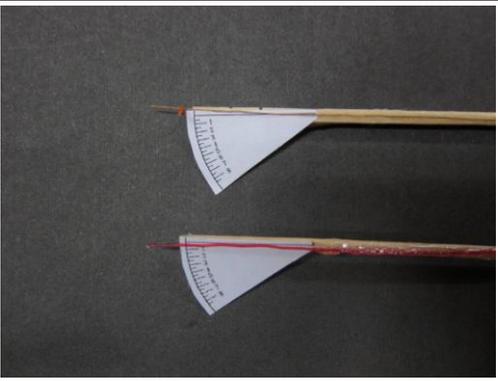
校園調查紀錄



蛛網遮蔽物觀察

(二) 測量蛛網的**黏性與張力**

在戶外測量時，要測量蛛網的**黏性與張力**，不能先噴水以免影響測量數據的正確性，所以蛛網結構不容易看清楚，又因為蛛網是不規則立網，要單獨測量每一條絲線很不容易。因此，和老師一起討論思考解決問題的方法，我們想到運用吸管製作取絲器，再用竹片、不同粗細的塑膠絲線，**利用塑膠絲線的彈力**，及**自行創製圓形測量器**，組合成**測量網絲黏性與張力的工具**。因為支持絲張力較大，需要另外用較粗的塑膠線製作測量工具。測量蛛網的自製工具刻度，**細線工具**：每格 36mgw；**粗線工具**：每格 290mgw。如下圖：

	
<p>用粗吸管製作取絲工具</p>	<p>用細及粗塑膠線製作測量工具</p>
	
<p>利用粗吸管工具取絲</p>	<p>測量網絲的黏性與張力</p>

### (三) 日本姬蛛棲息位置測量

在校園共測量 32 個蛛網，測量每個蛛網的左右(寬度)、前後(深度)及上下(高度)的長度，並測量蜘蛛棲息位置到底網的長度，將測量數據代入設計的程式計算，找出日本姬蛛棲息位置的規律性。

### (四) 蛛網捕獲率測量

在校園共測量 20 個蛛網，從立網外圍各丟入一隻蒼蠅，觀察 3 分鐘內，觀察蒼蠅是否被捕獲，或是在蛛網內未能逃走，及被捕獲的方式以哪一種最多。

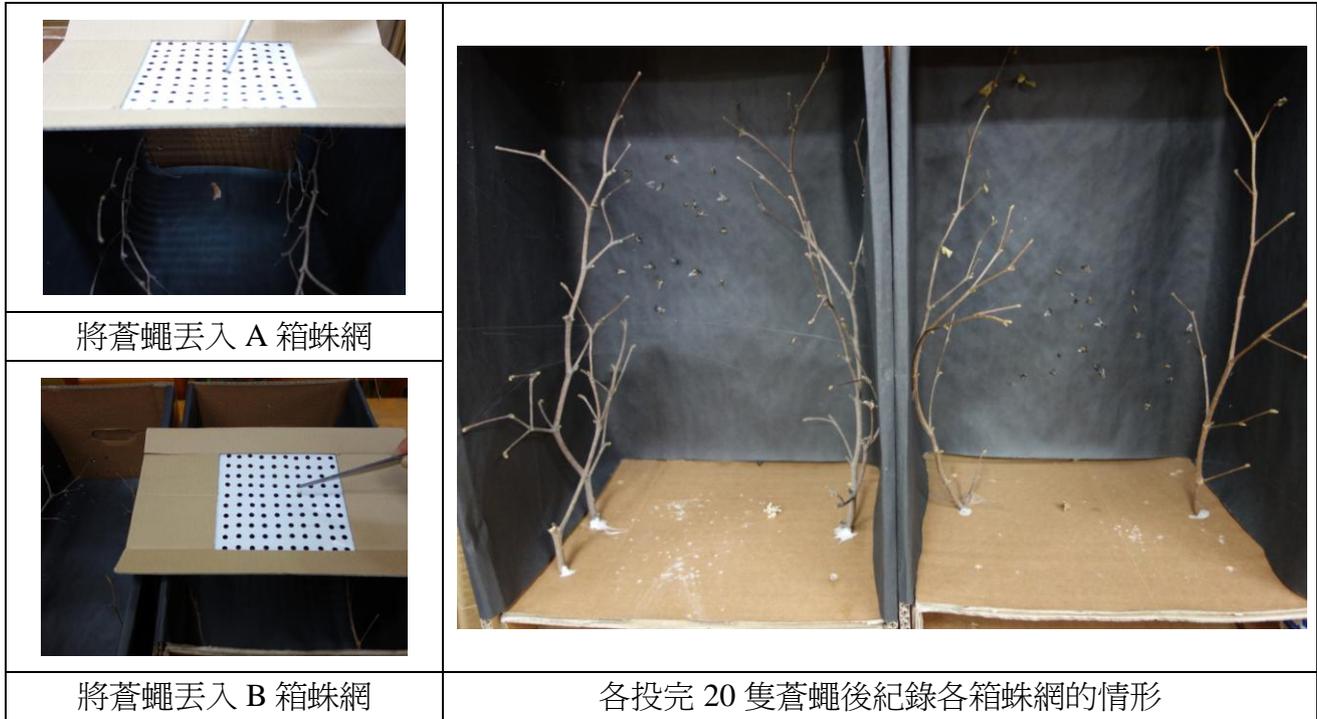
## 五、實驗觀察與測量

(一) 在室內外共取樣 15 個有遮蔽物的日本姬蛛蛛網，在立網內各放入一隻蒼蠅，觀察蜘蛛開始捕獵時間及捕獵策略是否有差異。

	
<p>將蒼蠅丟入立網並用碼表計時捕獵的時間</p>	<p>觀察蜘蛛如何進行捕獵</p>

## (二) 蛛網被穿透機率的測量

爲了想瞭解日本姬蛛不規則立體網的設計，除了可以比平面網捕捉更多面向與不同角度飛來的獵物，是否也構成了更細密的網目，讓獵物不容易穿透蛛網。因此，設計了蛛網被穿透機率的測量方式，利用 15\*15(cm)的紙板，每隔 1.5cm 穿一個洞，每個洞口約 0.6cm，作成一個有 100 個洞的紙板。測量室內 3 個黑紙箱的蛛網被穿透率，各投入 20 隻蒼蠅，紀錄蒼蠅穿透蛛網的機率。



(三) 我們隨機測量戶外 20 個日本姬蛛蛛網(最寬處 12-20cm)，從立網周圍各丟入一隻蒼蠅，觀察 3 分鐘內蛛網裡蒼蠅被捕獲的比例，哪一種被捕獲的方式最多。

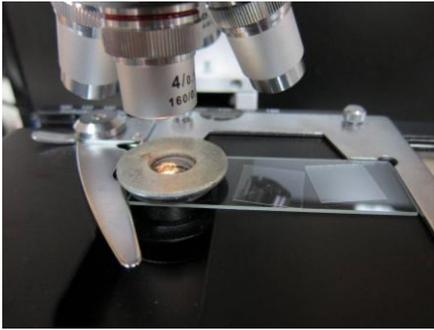
## 六、蛛網結構顯微觀察

我們對於蛛網絲線的結構很好奇，嘗試取下絲線觀察，但只能取得數條糾纏在一起或是被破壞的絲線。希望能觀察到蛛網絲線的組成與交錯方式，因此，自行創製適合的取網工具與方法，蒐集的材料有中空磁鐵片、螺絲墊片、鐵線及鑷子，利用磁鐵的磁性組成採集蛛網的工具，如下圖：

### (一) 取絲工具的設計



(二) 取絲觀察的方法與步驟

		
<p>將磁鐵片及螺絲墊片分別置於 蛛網的不同面</p>	<p>利用磁力吸住螺絲墊片後，將 周圍的絲線剪掉</p>	<p>將磁鐵與螺絲墊片夾住蛛網中 空處的絲線用顯微鏡觀察</p>

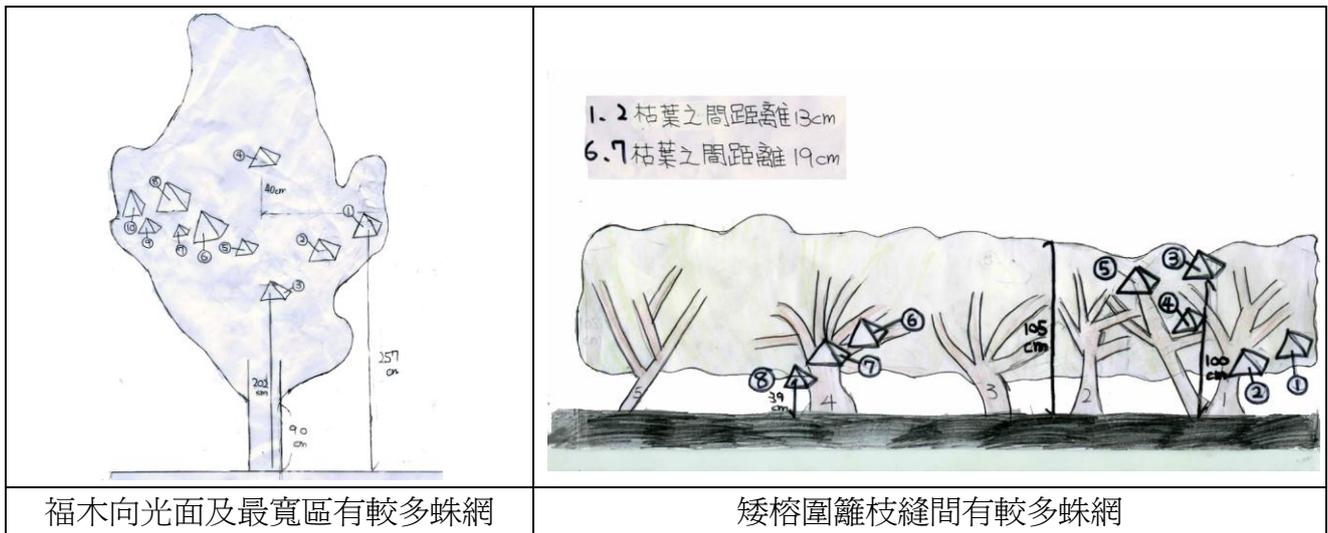
伍、研究結果與討論

一、日本姬蛛結網的特性

(一) 結網的環境

校園裡日本姬蛛的蛛網，大多分布於前庭、水生池旁及兩棟建築中間草皮區的樹上，樹種包括榕樹、福木、羅漢松、大王仙丹、金露花及矮榕。

		
<p>在榕樹的葉縫與枝縫結網</p>	<p>在福木的葉縫結網</p>	<p>在羅漢松的葉縫結網</p>
		
<p>在大王仙丹圍籬的葉縫結網</p>	<p>在金露花的的葉縫與枝縫結網</p>	<p>在矮榕圍籬的葉縫與枝縫結網</p>



福木向光面及最寬區有較多蛛網

矮榕圍籬枝縫間有較多蛛網

2.分析記錄表(樣本數 62 個蛛網)：◎代表是。

植物的環境	喬木	灌木	樹圍向光面	樹圍背光面	葉縫間	樹縫間	樹冠最寬區	樹冠其他區	支持絲在葉片	支持絲在樹枝
榕樹	◎		◎		◎		◎		◎	◎
福木	◎		◎		◎		◎		◎	
羅漢松	◎		◎		◎		◎		◎	
大王仙丹		◎	◎			◎			◎	
金露花		◎	◎		◎		◎		◎	◎
矮榕		◎	◎			◎			◎	◎

結果：(1)喬木與灌木都有日本姬蛛蛛網。

(2)日本姬蛛喜歡在樹圍向光面結網。

(3)日本姬蛛多數在樹冠最寬區也是樹葉較茂密區結網。

(4)以葉子或樹枝搭支持絲結網在葉縫間。

討論：日本姬蛛結網結網的位置會隨樹種而改變。由於蜘蛛是捕食性動物，對牠們來說獵物較多或容易接近獵物的地方才是良好的領域(朱耀沂, 2007)。我們觀察發現日本姬蛛結網多數在光照較強面、樹葉較茂密處、及樹的外圍，適合獵物活動的區域來結網。還發現葉片較大的樹種，蛛網的支持絲搭在葉子上，葉片小的會在葉子和樹枝搭絲結網，日本姬蛛會利用空間及環境的條件，來結適合捕獵的蛛網。

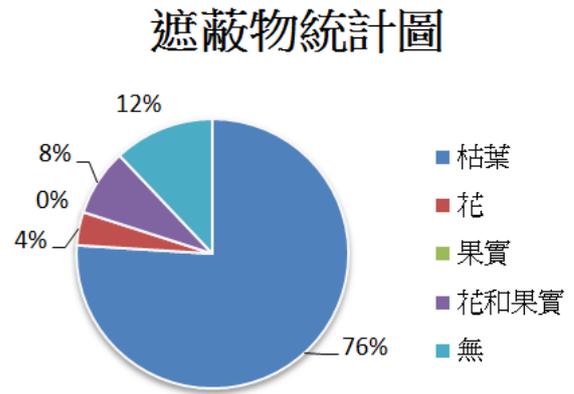
## (二) 蛛網的特徵

日本姬蛛蛛網呈立體不規則的錐體網。飼養發現日本姬蛛結網有類似的步驟，依序是先拉幾條支持絲，漸漸織出不規則立網，拉起枯葉當遮蔽物，然後織底網。從戶外取回的日本姬蛛通常在 1-2 天完成複雜的錐體網，而且通常在昏暗時織網。歸納日本姬蛛的立體網，主要包括以下三個特徵：

### 1.有遮蔽物

大多數的蛛網內有遮蔽物作為棲息與護卵的場所。統計圖表如下：(樣本數：25 個蛛網)

遮蔽物	數量	百分比
枯葉	19	76%
花	1	4%
果實	0	0
花和果實	2	8%
無	3	12%



結果：有 88% 有遮蔽物，以**枯葉**最多有 76%，也有少部分以花、果實作為遮蔽物。

討論：(1) 遮蔽物主要是結網植物本身或附近植物的葉、花或果實。大部分是小片的枯葉，有些葉片太大，就會改以花朵或果實為遮蔽物，例如福木的葉片太大，所以大多以福木的小白花為遮蔽物。

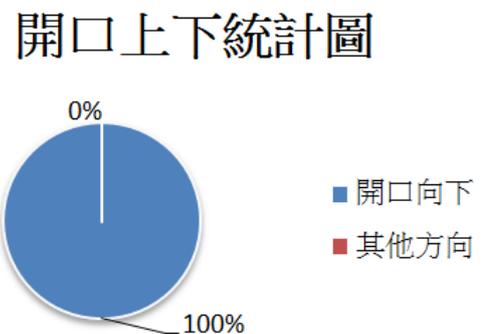
(2) 無遮蔽物的三個蛛網都是若蛛的蛛網。可能若蛛還沒發展出找遮蔽物為棲息處的行爲，或是附近沒有適合牠的身體大小的遮蔽物材料。



## 2. 遮蔽物開口朝下

統計室外與室內有枯葉的巢共 25 個，枯葉開口方向，統計圖表如下：

開口向下	25
其他方向	0



結果：所調查的遮蔽物 25 個，開口都朝下(100%)。

討論：遮蔽物位於立體網中，開口朝下可能比較利於日本姬蛛捕獵；另外，我們也發現，遮蔽物上方如果有開口，牠也會用絲線把上方開口封住，只留遮蔽物下方的開口，推測可以避免敵人從上方開口入內攻擊。

### 3.立體網下方有綿密底網

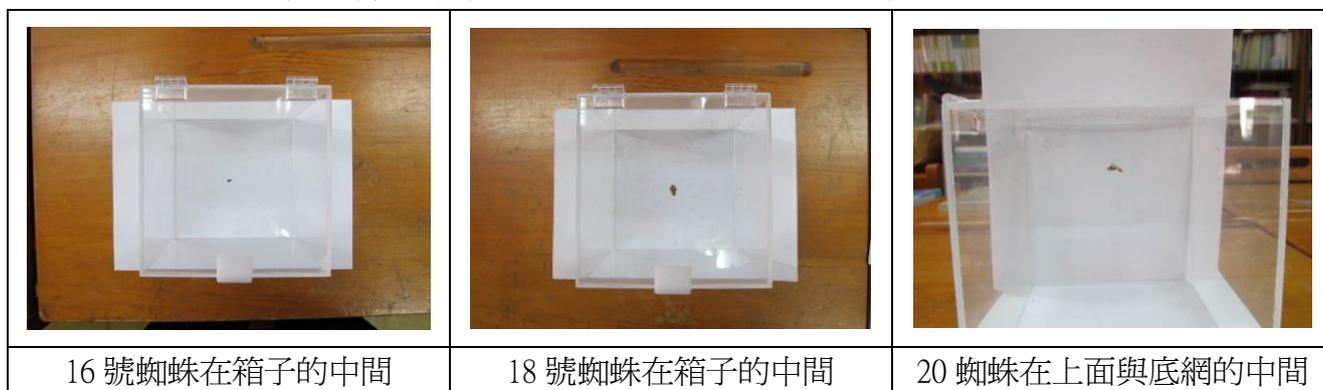
觀察發現日本姬蛛蛛網，在立體網下方都會有綿密底網。



## 二、日本姬蛛棲息位置與捕獵行爲

### (一) 棲息的空間概念

1.飼養的日本姬蛛棲息位置的空間概念，觀察結果如下表：



編號	16 (成蛛)	17 (成蛛)	18 (成蛛)	19 (成蛛)	20 (成蛛)
蜘蛛/左右長度	7.1/14.2	7.2/14.4	7.3/14.4	7.2/14.4	7.2/14.4
在中間 (誤差範圍±0.2cm 內)	✓	✓	✓	✓	✓
蜘蛛/前後長度	7.1/14.2	7.2/14.4	7.4/14.4	7.3/14.4	7.1/14.4
在中間 (誤差範圍±0.2cm)	✓	✓	✓	✓	✓
蜘蛛/上-底網	4.9/9.8	4.5/9	5.3/10.5	5.2/10.3	5.0/10.2
在中間 (誤差範圍±0.2cm 內)	✓	✓	✓	✓	✓

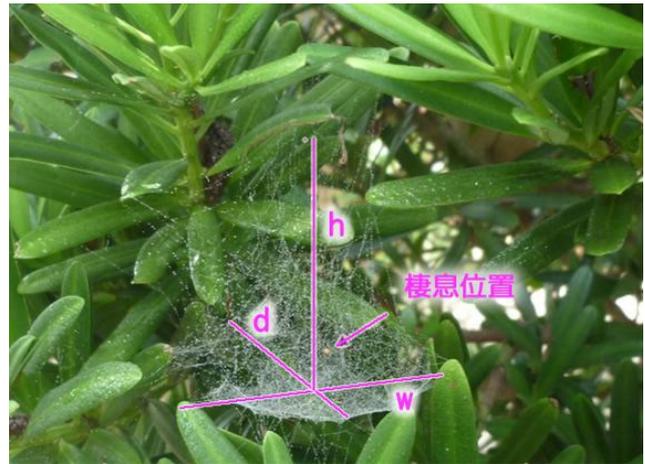
棲息在左右中央的比例	棲息在前後中央的比例	棲息在上下中央的比例
100%	100%	100%

結果：五隻成蛛都棲息在正方體箱子內的左右、前後及上面至底網的中央。

討論：根據測量統計結果發現，5 隻成蛛有棲息在正立方體中央的空間概念。

## 2.校園裡日本姬蛛的棲息位置的空間概念

我們在校園中實地測量 20 個蛛網，紀錄日本姬蛛結網棲息的左右、上下及前後位置，統計分析棲息位置。

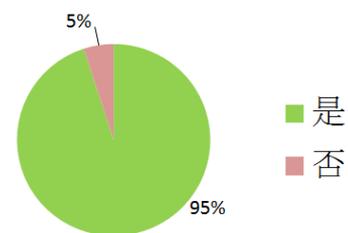


校園蛛網蜘蛛棲息在網中的照片

\*左右寬度  $w$  在中央：

位於中央	是	否
佔有率	95%	5%

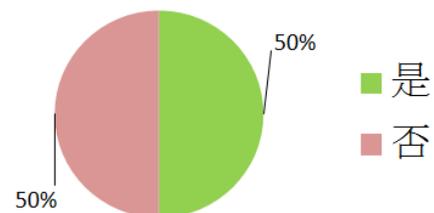
左右是否在中間



\*上下高度  $h$  在中央：

位於中央	是	否
佔有率	50%	50%

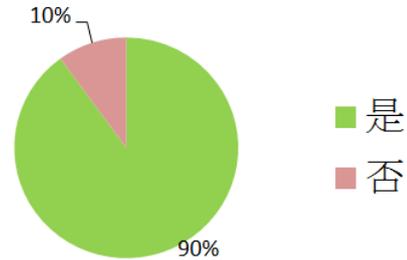
上下是否在中間



\*前後深度 d 中央：

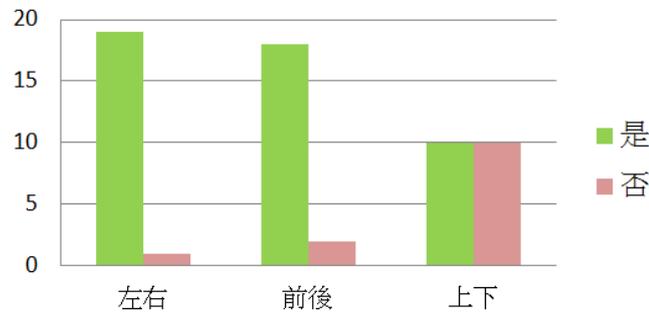
位於中央	是	否
佔有率	90%	10%

前後是否在中間



\*棲息在左右、前後及上下中央的比較圖：

蛛網是否中央比較圖



結果：棲息位置在蛛網中央的測量，在**左右中央的有 95%**，前後中央有 90%，上下中央只有 50%。

討論：數篇文獻提到日本姬蛛的遮蔽物在網子的中央(李侑謙、林奕維，2006、徐乾坤，2012.06.18、鍾承庭等，2009、台灣生物多樣性資訊入口網，2013)。我們實際測量自然環境的蛛網發現，在不規則立體網中，棲息在左右及前後有 90%以上在中央位置；但在上下位置的只有 50%。我們很好奇，日本姬蛛真的**棲息在蛛網的中央嗎？錐體網的中央位置在哪裡呢？**推測棲息位置和捕獵策略可能有關，我們試著從**幾何圖形**的概念思考問題找答案。

## (二) 蛛網的幾何概念

日本姬蛛是否能在不規則錐體網中找到中心位置呢？我們觀察日本姬蛛的蛛網，大部分是不規則四角錐體網，從幾何圖形的角度思考，四角錐體的垂直剖面與錐體相交形成了三角形，三角形有**內心、外心及重心**。每個心的性質不同，**內心**到三邊的距離相等；**外心**到三頂點的距離相等；而**重心**到三頂點的連線會三等分原來三角形面積(馬榮喜等編，2013)。我們作進一步探討，找出蛛網的幾何概念。

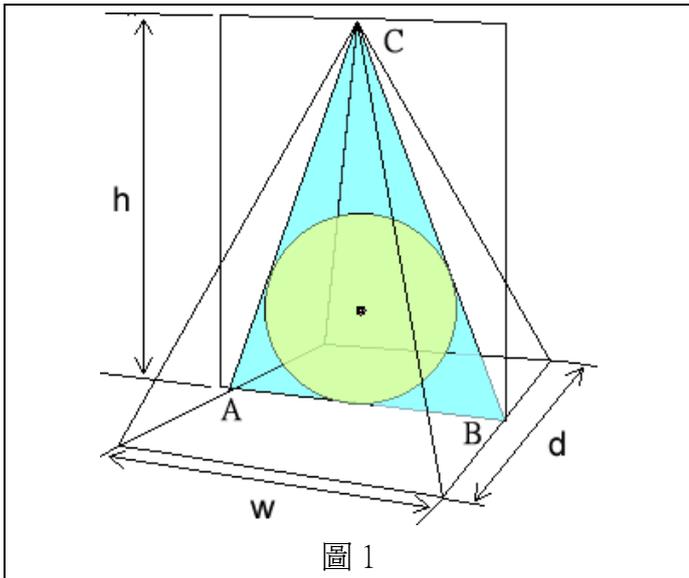
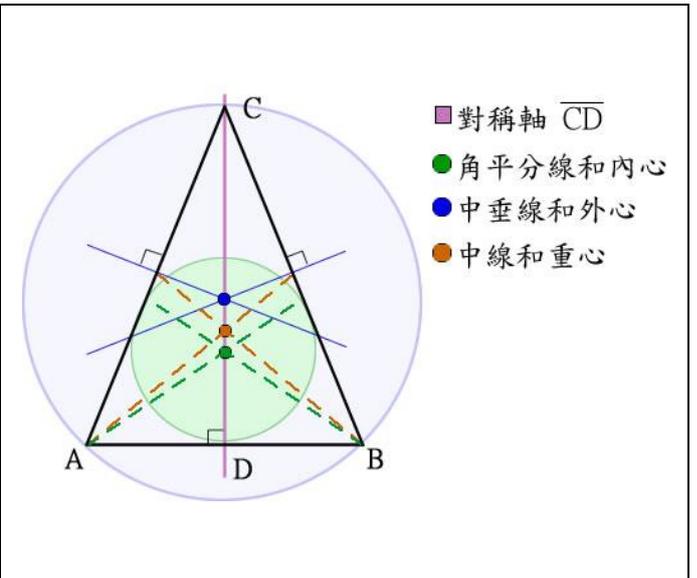


圖 1



此「錐體網的剖面三角形 ABC」(如圖 1)是通過頂點與底面垂直的剖面，與錐體網相交所形成的三角形。

我們以日本姬蛛「錐體網的剖面三角形 ABC」(如圖 1)來推論棲息位置是位於內心、外心或重心的位置。

依照上述解說圖，我們找出等腰三角形內心、外心及重心的數學式：

等腰三角形，h=高，w=底

$$\text{內心到底網的距離} = \frac{wh}{w + \sqrt{w^2 + 4h^2}}$$

$$\text{外心到底網的距離} = \frac{h^2 - \frac{w^2}{4}}{2h}$$

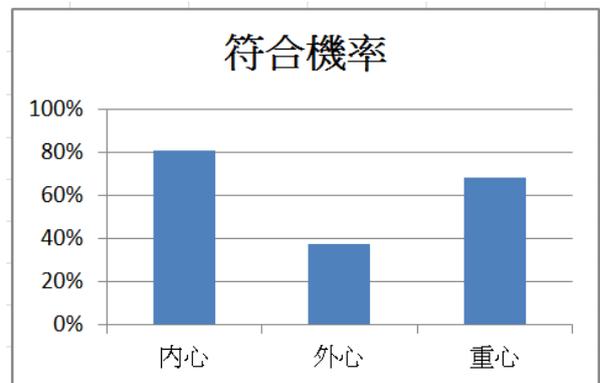
$$\text{重心到底網的距離} = \frac{h}{3}$$

根據此公式我們設計出運算內心、外心及重心的 EXCEL 公式。測量戶外 32 個蛛網的上下、左右、前後及棲息處至底網長度的數據，再運用此 EXCEL 公式計算出每個蛛網內，棲息位置與錐體網內三心的關係。

1.日本姬蛛在網中的棲息處至底網距離，與內心、外心及重心位置符合的比例：

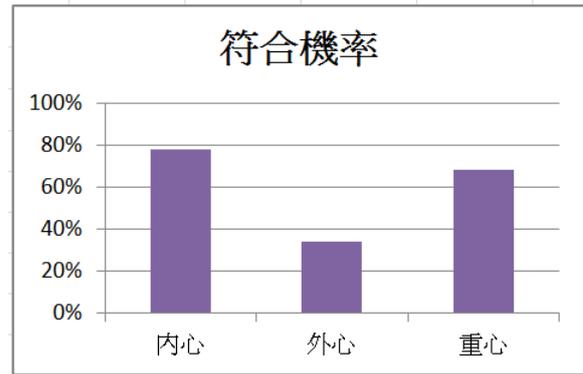
(1)由左右寬度 w 推算

參照位置	內心	外心	重心
符合數/全數	26/32	12/32	22/32
符合機率	81.25%	37.5%	68.75%



(2)由前後深度 d 推算

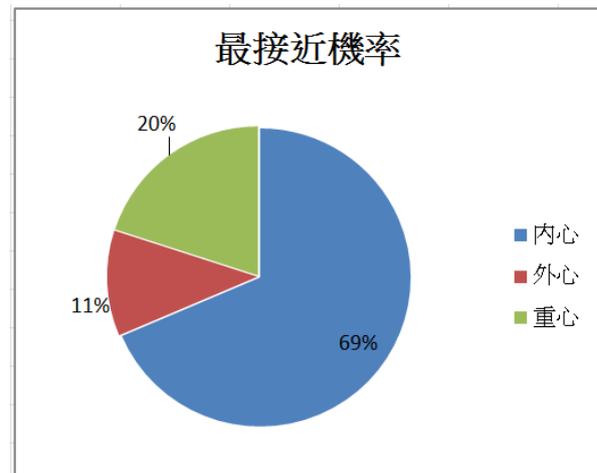
參照位置	內心	外心	重心
符合數/全數	25/32	11/32	22/32
符合機率	78.13%	34.38%	68.75%



2.日本姬蛛在網中的棲息處至底網距離，最接近內心、外心及重心位置的比例：

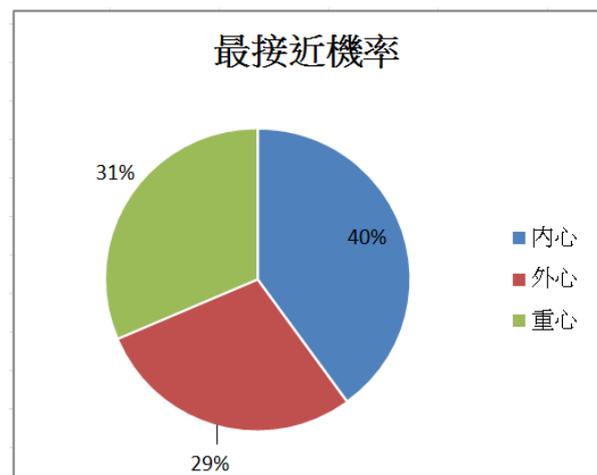
(1)由左右寬度 w 推算

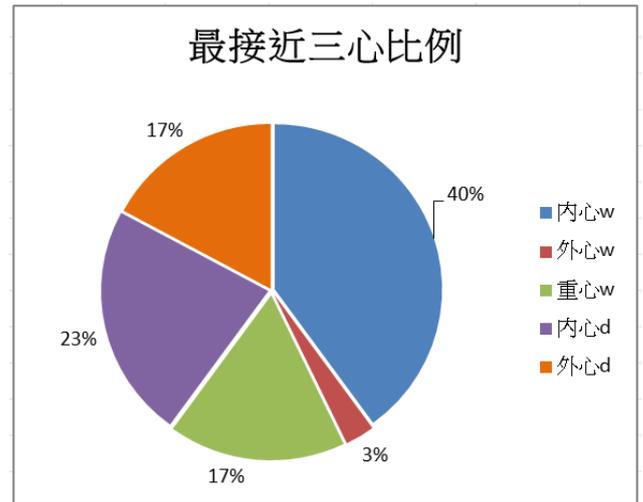
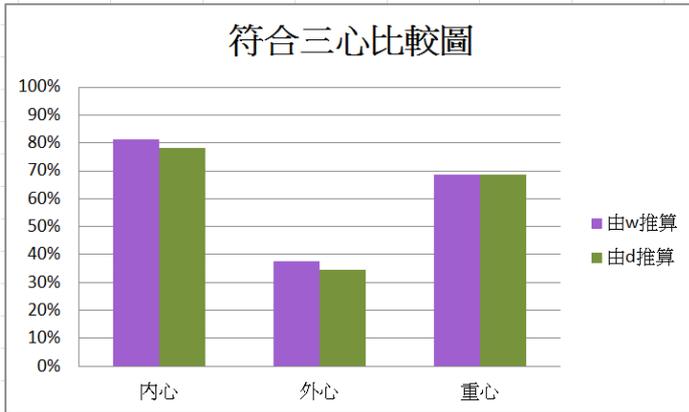
參照位置	內心	外心	重心
最接近/全數	24/35	4/35	7/35
最接近機率	68.57%	11.43%	20%



(2)由前後深度 d 推算

參照位置	內心	外心	重心
最接近/全數	14/35	10/35	11/35
最接近機率	40%	28.57%	31.43%





- 結果：(1) 統計發現以**左右寬度**為底的縱切面(由 w 推算)，棲息位置有 81.25%符合錐體網的**內心**的位置，比例最高。
- (2) 無論以**左右寬度**為底或是**前後深度**為底的縱切面(由 d 推算)，棲息位置都最符合錐體網的**內心**的位置。
- (3) 以**左右寬度**為底的縱切面(由 w 推算)，棲息位置有 68.57%最接近錐體網的**內心**的位置，超過半數。
- (4) 無論以**左右寬度**為底或是**前後深度**為底的縱切面(由 d 推算)，棲息位置都最接近錐體網的**內心**的位置。

- 討論：(1) 法布爾在書中提到平面圓網蜘蛛網的中心點是輻射絲的匯集處，是一切震動的中心點，獵物在網上任何地點掙扎的訊息都會傳遞到中心點(魯京明等譯，2002)。內心的性質是到三角形三邊的距離相等。統計發現日本姬蛛多數棲息在**內心**的位置，推測易於感覺網中絲線的振動，察覺獵物所在的位置。但是日本姬蛛要在不規則的**立體網**中找到及運用**中心點**，就更複雜了。
- (2) 我們討論如何利用測量蛛網的左右 (w) 及上下 (h) 距離的數據，即能算出日本姬蛛棲息位置的運算公式，因此當測量出蛛網的寬度與高度，可以算出蛛網的剖面三角形 ABC 的**內心**，也就能預測日本姬蛛最可能棲息的位置。

### (三) 棲息位置對捕獵的影響

#### 1. 棲息位置對捕獵的影響

日本姬蛛結網時，棲息在錐體網**內心**位置，周圍的絲線密集交錯。常以仰躺倒懸的姿勢，第二及第四對步足特別明顯搭在絲線上，當絲線振動時，可以快速察覺。



棲息在內心位置，不規則絲線傳遞振動訊息



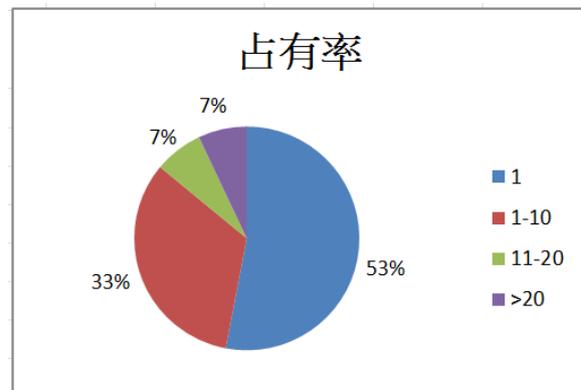
棲息時將步足搭在絲線上可察覺振動

討論：測量餵食蜘蛛的蒼蠅每隻平均約 15mg。而立網絲的平均張力是 118.08 mgw，底網絲平均 95.4 mgw。蒼蠅重量小於絲線的張力，初碰觸時不會壓斷絲線，絲線振動會傳遞訊息讓蜘蛛察覺。昆蟲大師法布爾觀察發現圓網蛛有電報線，電報線可以讓蜘蛛知道獵物落網的訊息(魯京明等譯，2002)。推論日本姬蛛棲息在網的內心位置，步足搭在絲線上，也能快速察覺有獵物落網了。

## 2. 日本姬蛛察覺獵物的反應時間

日本姬蛛察覺獵物與捕食的動作非常迅速，我們隨機測量室外 15 個有遮蔽物的日本姬蛛蛛網，向立網丟入蒼蠅，測量日本姬蛛離開遮蔽物開始捕獵的時間，如下表：

反應時間(秒)	<1	1-10	11-20	>20
占有率	53%	33%	7%	7%



結果：有超過 50% 的日本姬蛛是少於一秒鐘，就會察覺獵物，並有反應動作；只有一個蛛網是超過 20 秒還沒有反應。

討論：(1) 觀察發現，有數隻蜘蛛能在少於一秒的時間內，即到達獵物所在位置，推測和蜘蛛棲息於蛛網內心的位置，能快速察覺獵物並到達獵物位置有關。

(2) 室內飼養觀察發現，如果日本姬蛛 3 天以上沒有餵食，從立網丟入蒼蠅時，反應會很迅速；如果每天餵食，日本姬蛛反應的時間與動作都比較慢，因此飢餓程度也是影響牠捕獵反應的因素之一。

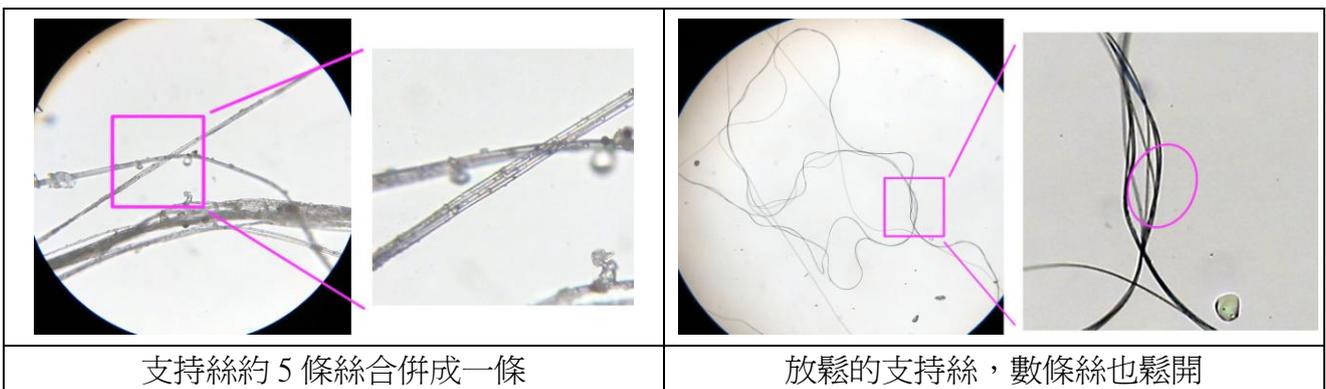
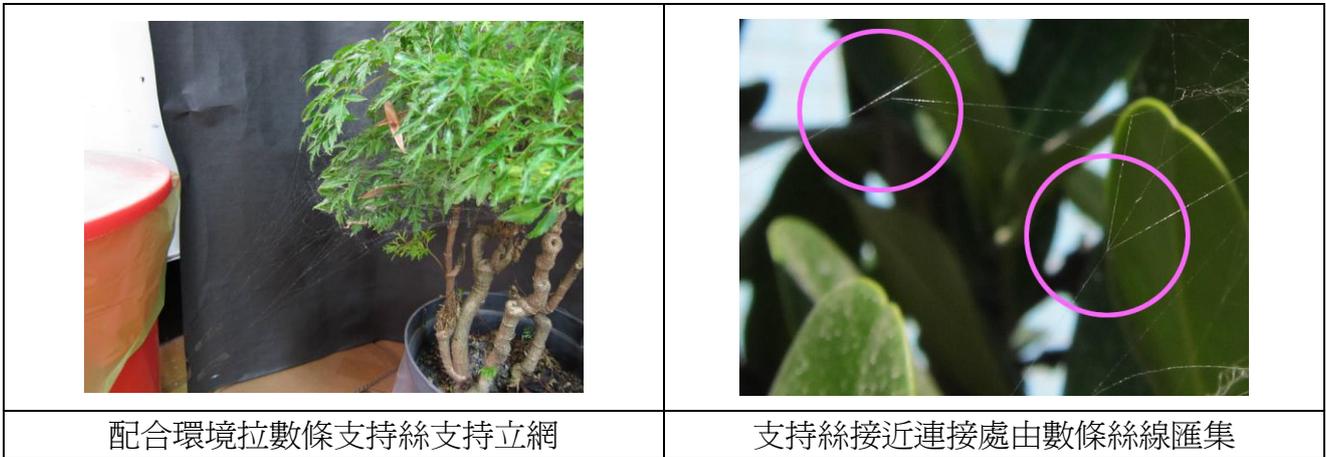
### 三、日本姬蛛蛛網結構與捕獵行爲

#### (一) 蛛網的結構

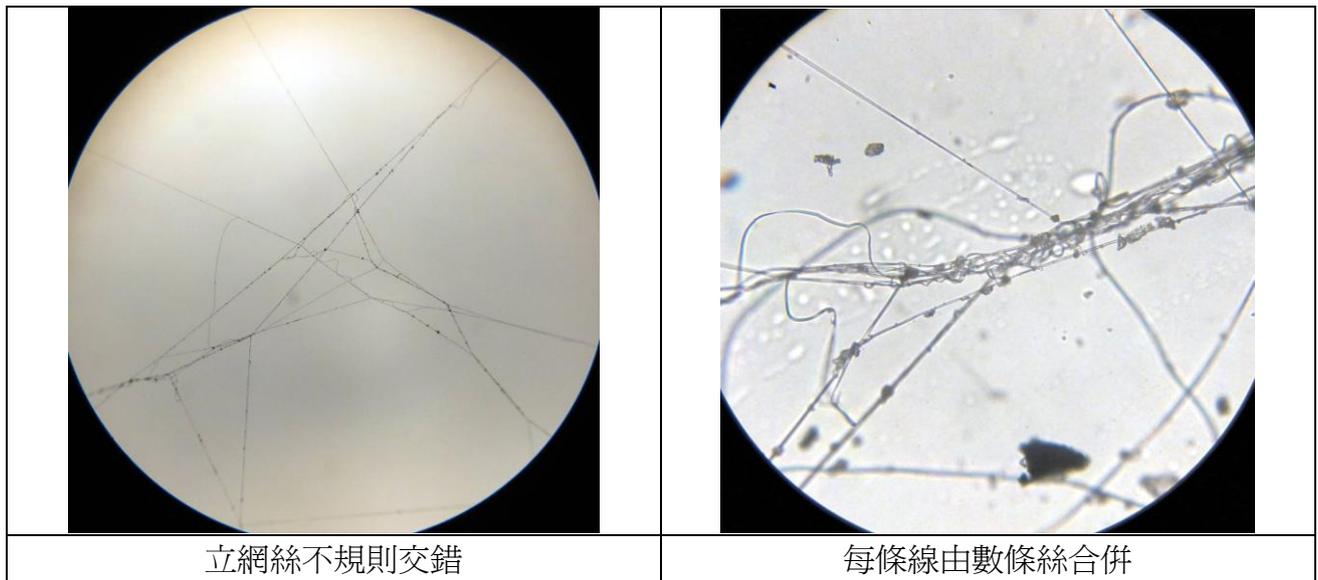
日本姬蛛的蛛網是不規則立體網，我們將蛛網的結構分爲三個部分，包括支持絲、立網及底網，如右圖。



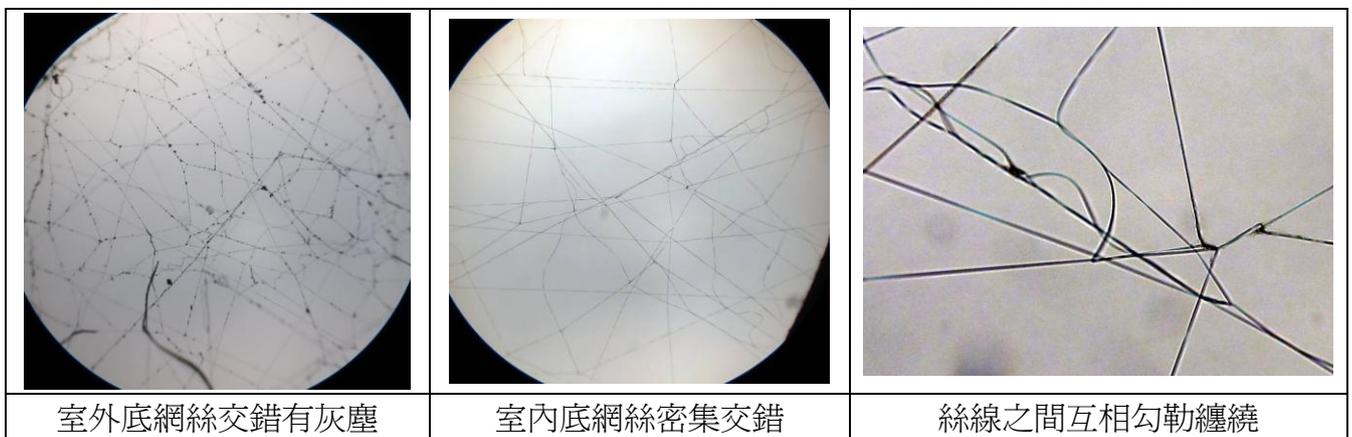
1. 支持絲：絲與絲間隔較大，每條支持絲由較多條絲線合併，主要功能是支持網體。



2. 立網：絲與絲不規則交錯，每條絲由數條絲合併，主要功能是傳遞振動訊息及捕捉纏繞獵物。



3.底網：絲與絲**密集交錯**，每條絲由 1-2 條絲合併，主要功能是**收集與攻擊獵物**。



結果：(1)三個部分的絲線各有不同的結構與功能。立網與底網都具有捕捉及攻擊獵物的功能。

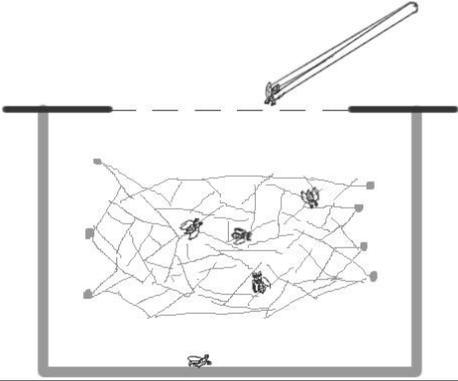
(2)立網與底網都由絲線不規則交錯而成，立網空隙較大，底網較密集。

討論：絲線之間互相勾勒纏繞，推測除了結網時的迅速與簡便，還可讓日本姬蛛在網內活動時可以快速撥開絲線不用弄斷絲線，破壞的面積較小，修復較容易。

延伸探討：蒼蠅穿透蛛網機率的實驗

在 A、B 及 C 箱各放一隻日本姬蛛成蛛，織網完成三天後，以自製的紙洞卡，在立網範圍內各丟入 20 隻蒼蠅，測量蒼蠅卡在蛛網上的數量，並計算蒼蠅穿透蛛網的機率。



編號	A 箱	B 箱	C 箱	
蒼蠅卡在蛛網的數量	20 隻	19 隻	20 隻	
蒼蠅穿透蛛網的機率	0%	5%	0%	蛛網的蒼蠅穿透率透視圖

結果：A 與 C 箱的的蒼蠅穿透蛛網的機率都是 0%；B 箱只有一隻蒼蠅穿透蛛網，機率是 5%。

討論：立體不規則網的各個平面，網絲雖然有間隔距離，但是不同平面網絲交錯分布，可以降低獵物穿透蛛網的機率，提高捕獲率。

## (二) 蛛網的黏性與張力

### 1. 支持絲（細絲每格 36mgw）及張力（粗絲每格 290mgw）

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
黏性(格)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
張力(格)	4	1.5	6	2	5	4	5	10	6	5	4.85

結果：以 0.5 格 18mgw 作可測標準，黏性小於 18mgw，無法測出；張力平均  $290 \times 4.85 = 1406.5$  mgw。

### 2. 立網絲（細絲每格 36mgw）及張力（細絲每格 36mgw）

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
黏性(格)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
張力(格)	2.5	5	3.25	3.5	4	3.75	2.5	3	2.5	2.75	3.28

結果：以 0.5 格 18mgw 作可測標準，黏性小於 18mgw，無法測出；張力平均  $36 \times 3.28 = 118.08$  mgw。

### 3. 底網絲（細絲每格 36mgw）及張力（細絲每格 36mgw）

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
黏性(格)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
張力(格)	2.5	2	2	2	2.5	3	4	2.5	3	3	2.65

結果：以 0.5 格 18mgw 作可測標準，黏性小於 18mgw，無法測出；張力平均  $36 \times 2.65 = 95.4$  mgw。

討論：三個位置的絲線黏性都是小於 18mgw。書上提到姬蛛、金珠等在空中造網的蜘蛛，必須有可以黏住獵物的黏絲(朱耀沂, 2007)。但日本姬蛛用來捕獵的主要立網絲卻是黏性很微小，推論不是用黏性捕捉獵物，而是採取其他捕獵策略。

(三) 比較分析：三個位置的絲線張力比較表：

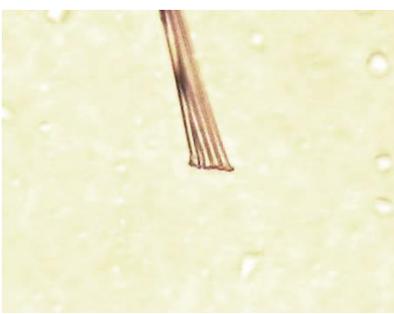
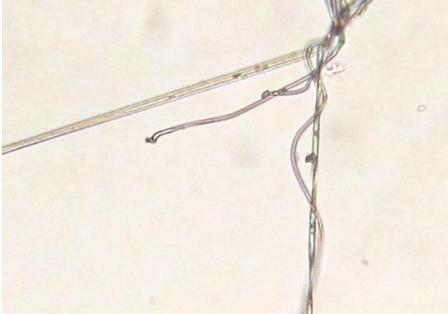
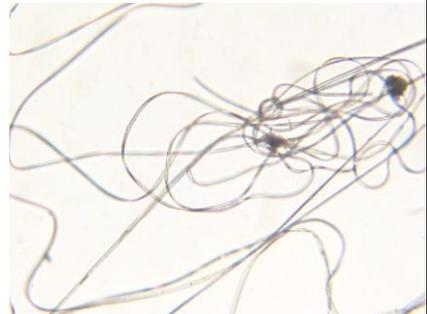
編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
立網絲 細(格)	2.5	5	3.25	3.5	4	3.75	2.5	3	2.5	2.75	3.28
底網絲 細(格)	2.5	2	2	2	2.5	3	4	2.5	3	3	2.65
支持絲 粗(格)	4	1.5	6	2	5	4	5	10	6	5	4.85

結果：三個位置絲線張力有差異，以支持絲最大平均 1406.5 mgw，其次是立網絲平均 118.08 mgw，最小是底網絲平均 95.4 mgw。

討論：1.成蛛重約 7.2mg，明顯小於絲線張力，可在網內行動便利。

2.我們另外測量平面圓網單一絲線的黏性與張力，測出框線的黏性小於 18 mgw 無法測出，張力大於 2320 mgw 無法測出；網線的黏性平均約 108 mgw，張力平均約 870 mgw。由此可比較出平面圓網網線的黏性與張力都明顯大於日本姬蛛的立網與底網絲線。

3.書中提到對造網性蜘蛛而言，蛛絲是捕獵時最大的利器，因此蛛絲必須具備幾種必要條件，如較大的黏性及強韌性(朱耀沂，2007)。但日本姬蛛的立網與底網蛛絲黏性微小，張力也弱，推測和蛛網捕獵策略有關。

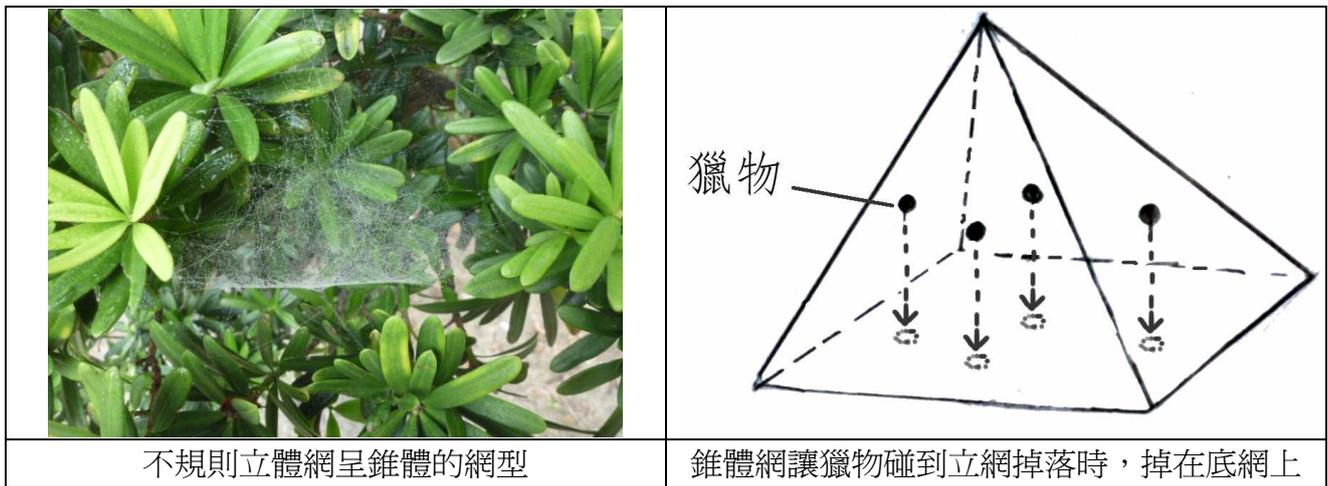
		
支持絲剪斷後有 5-6 條絲並列，張力較大，支撐網體	立網不規則交錯，拉斷後，一條絲線斷成 3 條絲，可纏繞獵物	底網綿密，拉斷後，附近的絲線糾纏在一起，防止獵物掉落

(三) 蛛網的捕獵設計

我們從網型、蛛網的結構，分析日本姬蛛如何透過蛛網設計陷阱捕捉獵物。

1. 錐體網的設計

觀察發現錐體網有利於捕獵，因為當獵物碰到立網掉落時，會掉在底網上。

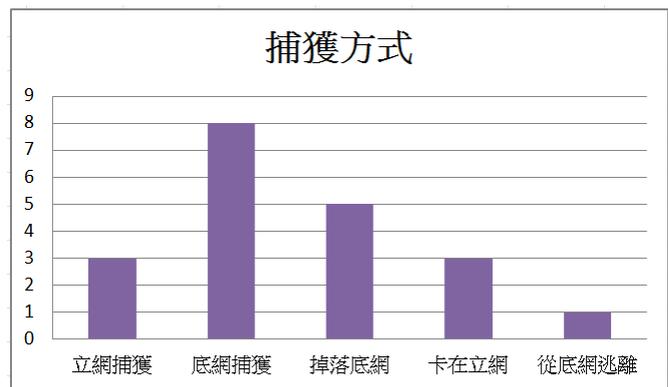
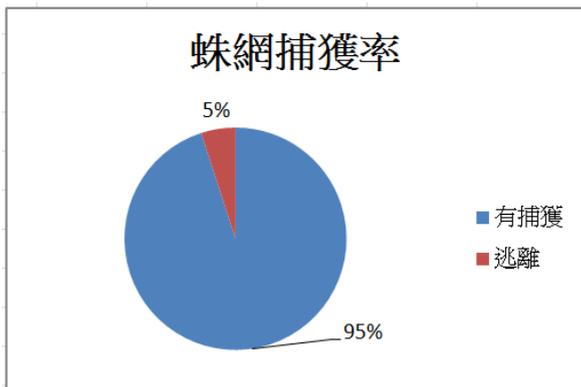


不規則立體網呈錐體的網型

錐體網讓獵物碰到立網掉落時，掉在底網上

我們在戶外進行投擲獵物入蛛網的實驗，統計如下表：(樣本數 20 個蛛網)

捕獲方式	立網捕獲	底網捕獲	卡在立網	掉落底網	從底網逃離
佔有率	15%	40%	15%	25%	5%
捕獲率	95%				5%



結果：(1)蛛網捕獲率達 95%。

(2)以在底網捕獲最多，其次是掉落底網，只有 1 隻從底網逃離。

討論：日本姬蛛蛛網捕獲率高。唯一有一隻蒼蠅從底網逃離，此網內蜘蛛體型與蛛網都較小可能捕獵能力較差。推論錐體網型及綿密的底網，使日本姬蛛蛛網捕獲率佳。

## 2.立網絲線的設計

(1)立網絲由數條絲合併成一線，線與線不規則交錯，讓昆蟲容易被立網絲纏繞，且空隙的大小可以讓小昆蟲掉落底網。

(2)每條絲的張力小，容易斷落。而多數昆蟲體表有毛狀結構，當昆蟲碰到一束絲線時，掙扎時身上的毛狀結構容易勾斷絲線，數條斷落的絲線會纏繞獵物的身體，讓獵物不易行動而掉落底網，蜘蛛再由底網攻擊，並網綁獵物比較安全容易獵補。



蒼蠅身上有許多毛，掙扎時扯斷絲線而被纏繞



蒼蠅腳被絲線纏繞，無法爬行

討論：書中提到圓網蛛的蛛絲間隔愈小捕捉小果蠅數明顯增加，但間隔距離縮小到一定程度後捕獲率不再明顯增加，推測過密的蛛絲容易讓昆蟲發覺蛛網，而降低捕獲率(朱耀沂，2007)。推測日本姬蛛的立網絲線可以具有絲斷落纏繞獵物，卻可以避免因為網絲分布過密，讓昆蟲易察覺而降低捕獲成效。

### 3.底網絲線的設計

底網由多條絲線交錯構成，形成綿密的網面，防止獵物掉落或逃出。



從底網下方攻擊獵物腹面



網綁獵物

討論：底網的張力小，絲線互相纏繞，讓蜘蛛可以**快速弄開絲線**，爬到底網下方**攻擊獵物腹面**，捕獵方式安全又不易被察覺。

### 4.不同的捕獵策略

在飼養與觀察過程中，發現日本姬蛛的捕獵策略，主要有在底網捕獵及在立網捕獵兩種方式。

(1) 在底網捕獵的步驟

		
1.獵物落入網中	2.弄開底網，從底網下方攻擊獵物	3.綑綁獵物
		
4.讓獵物留在原處，蜘蛛先回棲息處，與獵物間繫一條直線絲線	5.幾分鐘後回獵物處，再沿直線絲線邊收線邊將獵物拖回棲息處	6.在遮蔽物內食用或儲存獵物

(2) 在立網捕獵的步驟

		
1.直接到立網攻擊綑綁獵物	2.將獵物拖回遮蔽物	3.在遮蔽物內食用或儲存獵物

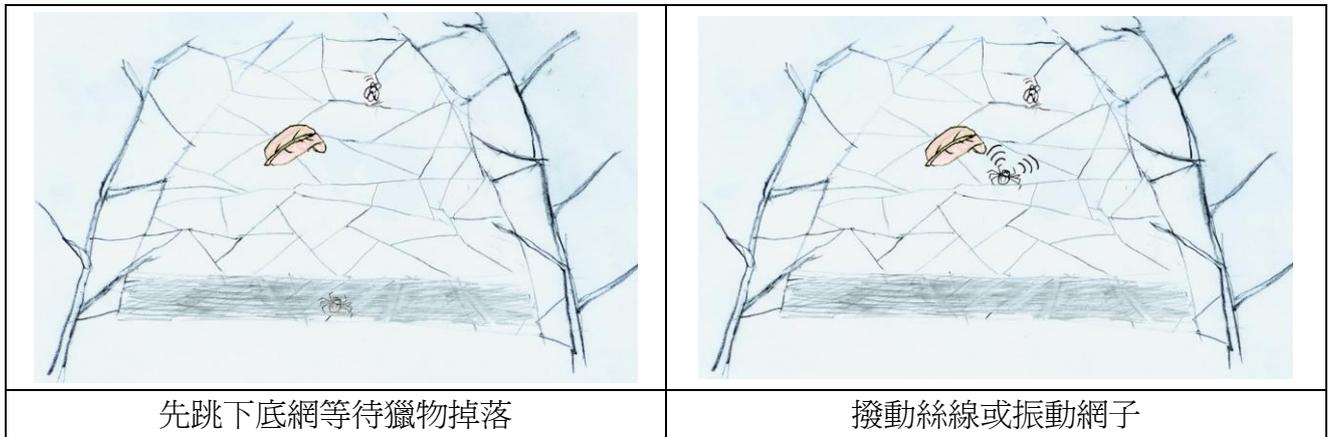
討論：(1) 觀察發現日本姬蛛以在底網捕獵的情形較多，推論可能和棲息內心位置可以涵蓋底網、錐體網型、網的結構及底網攻擊比較安全容易有關。

(2) 在底網捕獵的過程發現，牠會讓獵物留在原處，先回棲息處同時與獵物間繫一條直線絲線，幾分鐘後再沿此直線絲線到獵物處，拖著獵物一邊回收絲線一邊爬回棲息處。推測此直線絲線的作用可能是讓蜘蛛確定獵物是否被制伏或停止振動，及來回獵物處直線最近的距離。

(3) 捕獵策略有時會加入其他步驟，包括日本姬蛛先直接跳下底網等待獵物，或是在遮蔽物處撥動絲線或振動網子。書上提到鬼蛛若是獵物靜止不動，會拉扯絲線故意使網子振動，分析從蛛網傳回的振動，積極調查網上的狀態（陳書萍譯，2010）。我們觀察到蒼蠅落在枯葉上方時，日本姬蛛振動網子，使蒼蠅掉落底網，再到底網捕獵。

(4) 書中提到皿網蛛針對獵物大小與行為的不同，會利用絲線與絲路採取不同捕

捉策略，可能具某種程度空間概念（黃薇菁譯，2009）。日本姬蛛能找到錐體網剖面三角形的內心位置，並利用內心位置的性質，迅速運用不同的捕獵策略，我們推測牠也具有某種程度的空間概念與思考能力。



#### 陸、問題與討論

一、校園發現每個蛛網只有一隻成蛛，日本姬蛛是否領域性強？

進行三次室內試驗：

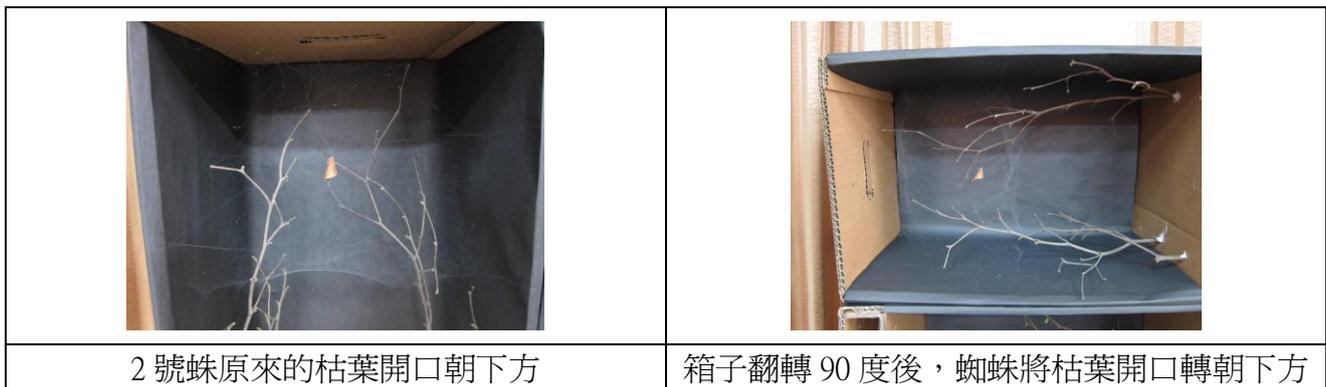
- 〈一〉第一次：抓回一號及二號蛛，一起放在福祿桐中間，第二天，兩隻蜘蛛在樹左右兩邊的葉縫間各自築網。
- 〈二〉第二次：把一號及二號蛛移開，再將三號蛛放到樹中間，幾小時後，三號蛛爬到二號蛛的蛛網；又將四號蛛放樹中間，隔天四號蛛佔了三號蛛的網，三號蛛改住原來一號蛛的網。
- 〈三〉第三次：把一號蛛和枯葉一起放到二號蛛的網中，一號蛛把二號蛛吃掉。



討論：試驗一發現日本姬蛛會個別結網；試驗二發現三號蛛比四號蛛體型小，四號蛛可以成功搶奪三號蛛的蛛網，把三號蛛趕走。試驗三發現二號蛛比一號蛛體型小，不僅蛛網被一號蛛佔據，還被吃掉了。因此推論日本姬蛛**領域性強**，一個區域內可能有數個蛛網，但一個蛛網內只有一隻成蛛。書上提到體重的差異，是貓蛛領域爭奪戰勝負的關鍵(朱耀沂，2007)。因此推測**體型或體重大小**可能是影響日本姬蛛領域爭奪勝負的重要因素。

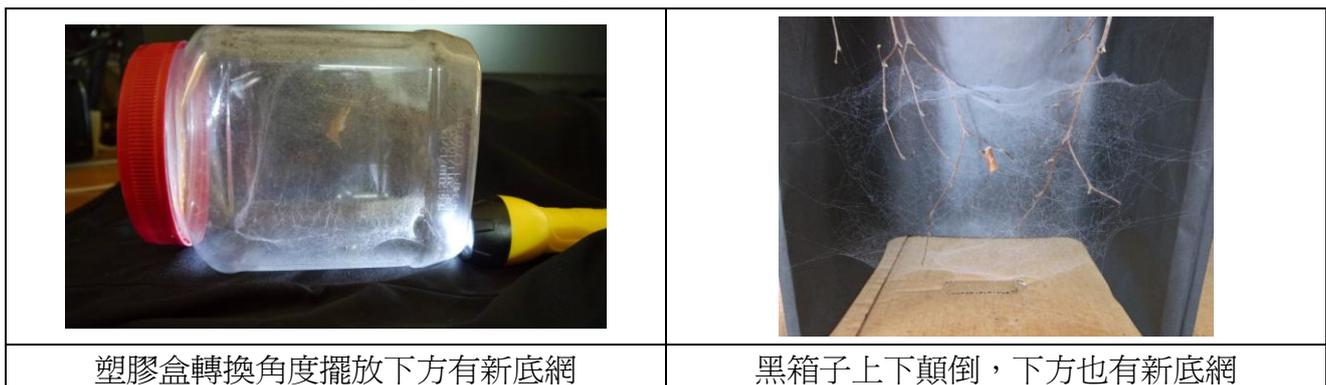
## 二、遮蔽物的開口一定朝向下方嗎？

將室內 3 個黑箱子顛倒放置，讓枯葉開口朝上，1 小時後日本姬蛛都會調整枯葉開口朝下方。可見日本姬蛛會在察覺開口方向錯誤後，調整枯葉開口方向。



## 三、立體網的下方一定有底網嗎？

我們將 3 個黑箱子及 3 個塑膠盒轉換角度擺放，結果日本姬蛛**都會在下方重新織底網**，因此，當每次轉 90 度轉三次，共轉了 270 度後，加上原來的底網，就變成四面底網了。綜合「遮蔽物開口向下」及「立體網下方有底網」的兩個特徵發現，日本姬蛛對下方的空間概念明顯，也會隨著變化作修正，推論和蛛網的捕獵設計有關。



#### 四、在圓柱體容器中，日本姬蛛結網的棲息位置有差異嗎？

我們以直徑與高度各 10cm 的圓柱體容器，測量 6 隻蛛的棲息位置，結果如下表：

棲息位置	41 號蛛	42 號蛛	51 號蛛	52 號蛛	61 號蛛	62 號蛛
棲息至底網/上面至底網	2.3/6.8	2.5/7.2	2.4/7.3	2.3/7	2.8/8	2.7/7.5
棲息與圓心位置距離 cm	0.6	0.5	0.5	0.3	0	0

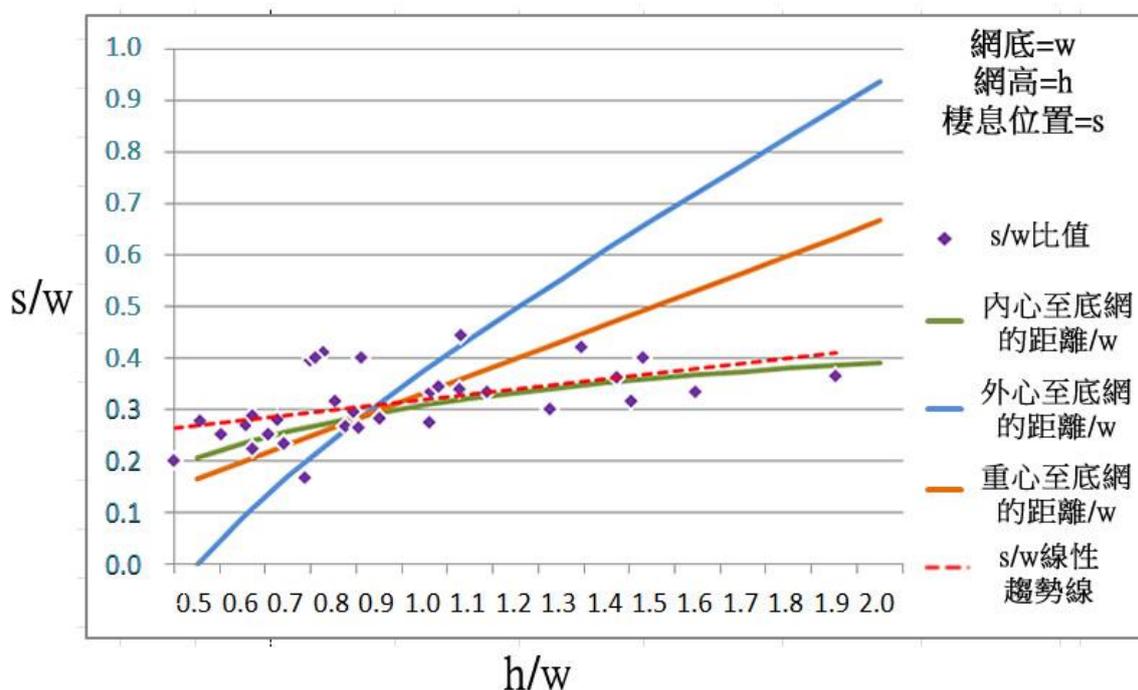
結果：有 2 個棲息在圓心位置。棲息位置距離下方較近，平均約 2.5cm。

討論：圓柱體容器沒有左右及前後的平面，有 1/3 接近中央位置。此外，長方體容器中日本姬蛛多棲息在高度的偏下方也是內心的位置，在圓柱體容器內，日本姬蛛也多棲息在高度的偏下方位置。

#### 五、棲息在內心位置，可以最有效率的捕捉獵物嗎？

我們藉由分析棲息位置與三角形三心位置的關係，來推論捕獲效率。圖示說明：

### 棲息位置與三心的關係圖



結果：日本姬蛛的棲息高度與寬度比值的趨勢線，趨近於錐體網剖面三角形 ABC 的內心高度與寬度比值的曲線，表示**棲息位置接近或等於內心位置**。

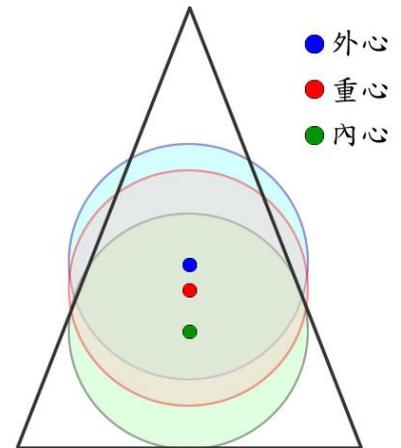
討論：我們運用三角形三心位置的程式分析：

1. 從內心到每一個邊平均最短距離，可以縮短察覺獵物的反應時間，達到最快的捕獵效果。
2. 如果以相同半徑的圓，把圓心定在重心或外心上，也就是日本姬蛛如果棲息在重心

或外心上，它就無法在相同的反應時間內，兼顧不同網的捕獵效率。

3.如圖示，棲息在立體網的上半部時，對於底網的獵物就要花更多的時間才能捕獵，但日本姬蛛主要的捕獵方式是在底網捕獵，所以並不適合。

日本姬蛛棲息在錐體網剖面三角形的內心位置，由正方體空間的實驗發現，棲息位置在立體的內切球的球心，也是立體網內最大球的球心，可以察覺獵物訊息的涵蓋面最大，到達各位置的平均距離最短，是網內最佳的狩獵位置。



六、如果將日本姬蛛的遮蔽物移開內心位置，牠會調整回內心位置？

實驗：1.將教室三個黑箱子裡的日本姬蛛棲息的枯葉，移動離開原來內心的位置。

2.觀察枯葉是否有移回原來內心的位置。

結果：6/4 日上午 11:30 將 3 個枯葉各從內心位置移到立網的左、中、右下方，6/4 日 17:00 時尚未改變位置，6/5 日 8:00 三隻蜘蛛都回到原來內心的位置。

討論：在移動枯葉過程中，原來棲息位置附近的網絲也被破壞了，但隔天日本姬蛛能移回原來內心的位置，並修補蛛網。推論牠有找到內心位置的能力。

## 柒、研究結論

### 一、日本姬蛛結網的特性

日本姬蛛結網的環境主要以樹葉茂密、向光面及樹的外圍，適合獵物活動的範圍結網，領域性強。

蛛網外形的特徵主要有三點：網中央有遮蔽物；遮蔽物開口朝下；不規則立網下方有綿密底網。

### 二、日本姬蛛棲息位置與捕獵行為

#### (一) 棲息的空間概念

多數日本姬蛛會棲息在空間的寬與長的中央位置。在正方體空間內，日本姬蛛會棲息在箱子的左右、前後及上面到底網的中央位置，推論具有良好空間概念。

#### (二) 蛛網的幾何概念

多數日本姬蛛棲息在錐體網剖面三角形的內心位置。外在環境不同時，或是被外力變更位置時，多數能找到或回到內心的位置。

#### (三) 棲息位置對捕獵的影響

棲息在內心位置，將步足搭在絲線上，能快速察覺獵物所在位置與狀況，採取捕獵策略。能在少於一秒的時間快速察覺獵物並反應動作。內心位置可以涵蓋底網，配合其他蛛網設計，較常採取在底網捕獵的策略。

### 三、日本姬蛛蛛網結構與捕獵行爲

#### (一) 蛛網的結構

我們將蛛網的結構分爲支持絲、立網及底網：支持絲由較多條絲線合併，主要功能爲**支持網體**；立網不規則交錯，主要功能是**捕捉纏繞獵物**；底網密集交錯，主要功能是**收集與攻擊獵物**。

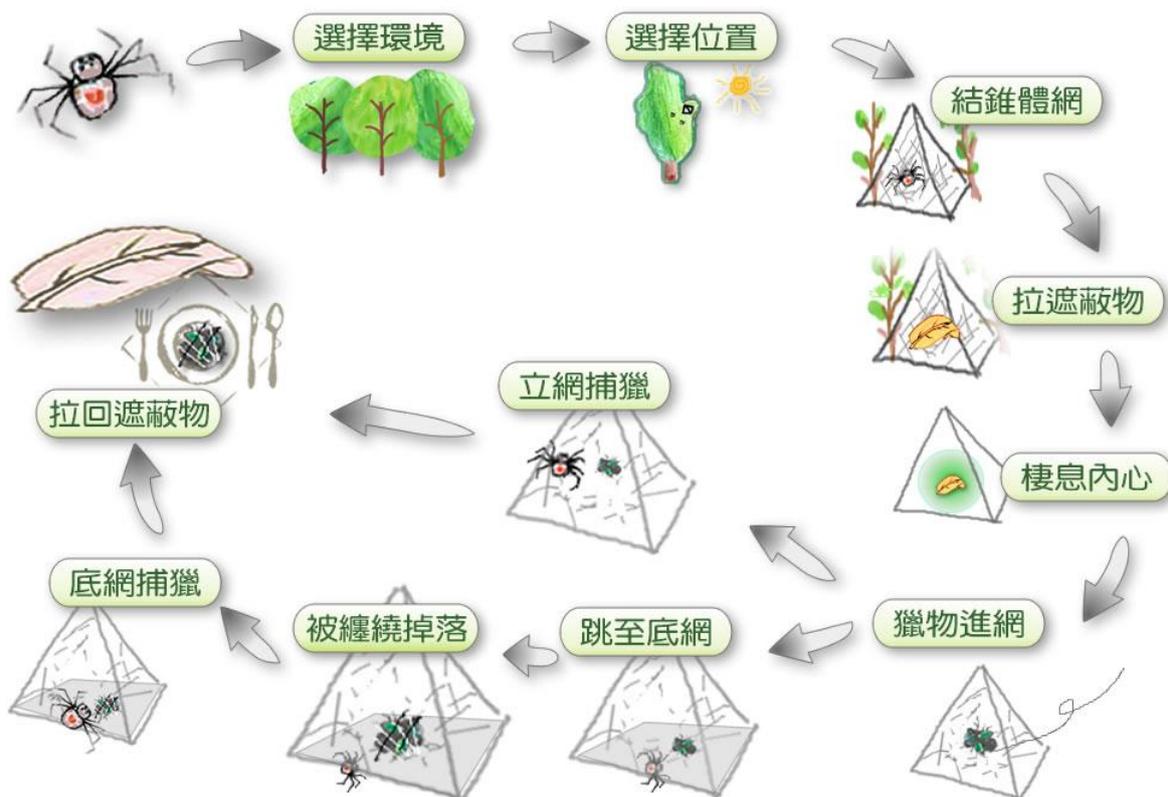
#### (二) 蛛網的黏性與張力

三個位置的絲線黏性微小，無法測出；支持絲張力最大，立網絲次之，底網絲張力最小。

#### (三) 蛛網的捕獵策略

1. **錐體網**及**綿密的底網**，可以有效收集獵物防止掉落，**捕獲率高**。
2. 立網能**傳遞振動**，**穿透率低**，能有效**纏繞住獵物**。
3. 底網張力小，讓日本姬蛛能**快速弄開底網**，從**底網下方**安全的**攻擊獵物**。

日本姬蛛結網與捕獵行爲圖



日本姬蛛分布廣泛，是生活周遭仔細觀察就能發現的小動物。我們探討日本姬蛛的結網與捕獵行爲，發現日本姬蛛能運用蛛網設計及良好的空間概念，發展適應不同狀況的捕獵策略。研究過程中常發現更多疑問與好奇，總覺得研究時間不夠，未來我們想繼續研究日本姬蛛如何找到內心位置，這些研究發現，可能也是仿生學領域中值得我們深入探索與學習的。

## 捌、參考資料

- 王純姬等編著(2013)。自然與生活科技五下。第二單元動物世界面面觀。新北市：康軒文教。
- 台灣生物多樣性資訊入口網。日本姬蛛。2013.10.02 檢索自：  
[http://taibif.tw/zh/catalogue\\_of\\_life/page/a6ef-807e-62f6-8adb-d117-8420-c014-cb63-namecode-412223](http://taibif.tw/zh/catalogue_of_life/page/a6ef-807e-62f6-8adb-d117-8420-c014-cb63-namecode-412223)
- 朱耀沂(2007)。蜘蛛博物學。台北市：天下遠見。
- 李侑謙、蔡亞軒(2006)。狩蛛待物。第四十五屆全國中小學科學展覽會。
- 徐乾坤(2012.06.18)。矮灌叢的躲藏高手----日本姬蛛生態探究。教育部綠色學校夥伴網路。2013.11.05 檢索自：<http://www.greenschool.moe.edu.tw/partner/item.aspx?key=36838>
- 馬榮喜、陳大魁、陳世易編著(2013)。國中數學三上。3-2 三角形的外心、內心、重心。新北市：康軒文教。
- 陳書萍(譯)(2010)。生物超感覺的秘密。(原作者：森田由子)。台中市：晨星。
- 黃薇菁(譯)(2009)。動物是天才建築師。(原作者：詹姆士.古爾德、卡爾.古爾德)。台北市：商周。
- 魯京明等(譯)(2002)。圓網蛛的電報線。(原作者：法布爾)。台北市：遠流。
- 鍾承庭等(2009)。蜘蛛在哪裡呀。第四十八屆全國中小學科學展覽會。

## 【評語】 080317

本作品係針對日本姬蛛所結的網形狀與捕食行為進行研究。本作品能以幾何概念來了解日本姬蛛棲息位置與覓食行為的關係，並進行詮釋，非常具有創意，作品中的幾何公式的應用尚非小學生所能運用程度，足見指導老師已善盡教導責任。文中關鍵詞的選擇用「內心」似乎並不恰當，因「內心」兩字似乎不能傳達全文內涵的訊息而且容易誤導，請改進。無論如何，本作品深具創意因此決議給予「創意獎」。