

投稿類別：生物類

篇名：

探討蛛網上水珠對蜘蛛捕食的影響

作者：

傅芋瑄。北市麗山高級中學。高三 8 班

指導老師：

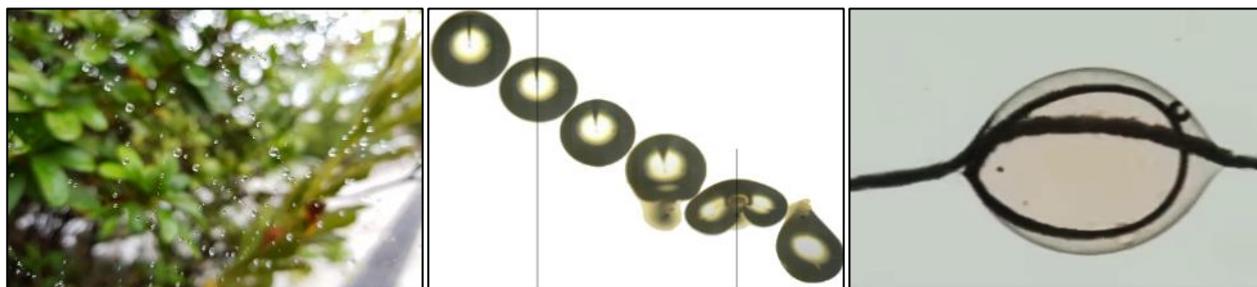
林獻升老師

壹、前言

一、研究動機

在下雨後，走在校園內，發現蛛網上有不同大小的水珠引起我的好奇：為何蛛網上會出現水珠，蜘蛛網不是就該隱藏起來讓生物不小心撞上去嗎？畢竟有水珠的網比乾燥的網顯眼多了，搜尋文獻後發現水珠的形成大致可分為物理和化學兩大區塊。在 Wonjung Kim (2016) 的論文中，說到了水珠在線上的停留跟水珠下落速度(2m)、水珠大小有關(圖一)，此外，Claire Asher (2016) 也提出蛛絲上稱作紡錘節的突起物在絲線遇水收縮時會聚集周圍水珠(圖二)。這些現象都可以很好的解釋為何水珠會出現在蛛網上。

然而，很少有研究提出關於水滴如何分佈的假設或結論。除了蜘蛛網的物理和化學特性之外，蜘蛛本身是否會成為變數之一？這些分布差異是否與蜘蛛生存有關？在昆蟲眼中，這些水珠會引起牠們的注意嗎？如果會，牠們會被吸引抑或是逃離？進一步觀察校園中其他蛛絲，發現蜘蛛會主動依次移除其網中心、上方網的水珠，為什麼要特別移除這兩個地方的水珠呢？本實驗前期主要著重在蜘蛛網水珠分布的關聯性，後期則會試圖尋找水珠所在位置對蜘蛛或生態的影響。



圖一：校園內蛛網與水珠 圖二：Wonjung Kim 擷取(自繪) 圖三：Claire Asher 影片擷取

二、研究目的與問題假說

- (一) 歸納水珠的分布情形。
- (二) 探討水珠為蜘蛛生態的影響。
- (三) 在觀察中發現蜘蛛會主動移除網中心及上方的水珠，探討為何蜘蛛要將水從網中心移除。
- (四) 因鳥類及昆蟲均可看到紫外光，推測水珠會改變原本的蛛絲，使其效果不能達到期望值。

三、實驗對象

- (一) 蜘蛛絲是由蜘蛛所分泌抽出的纖維，主要成份為蛋白質。可用來捕捉獵物、建構巢穴或卵囊作為本身或子代的保護場所。本實驗主要的實驗對象是大壺狀腺絲，縱絲，不具黏性，張力較大；螺旋狀絲（鞭狀腺絲+聚狀腺絲），橫絲，黏性絲；網中心，蜘蛛的家。
- (二) 大木林蜘蛛 (*Nephila pilipes*)，又稱斑絡新婦，人面蜘蛛、毛絡新婦，是臺灣常見的圓網蛛，常出現在原生林，次生林和花園（校園）。
- (三) 鉤粉蝶 (*Gonepteryx rhamni*)，其壽命是蝴蝶中最長的，成蟲階段可達 9 至 10 個月，五月為其繁殖期，七月是蛹化蝶的季節，以花蜜為食。



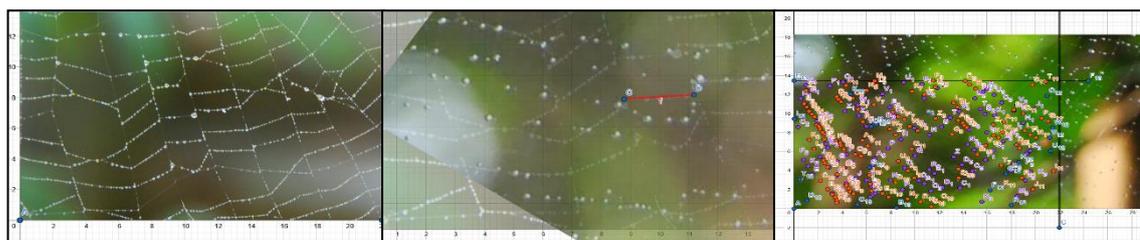
圖四：蜘蛛絲及大木林蜘蛛(自行拍攝)

圖五：鉤粉蝶(自行拍攝)

四、研究過程及方法

(一) 蛛網水珠分布位置

1. 使用霧狀灑水器由下到上的方式（模仿下雨），灑水在網上，敲擊蛛網，模擬生物掙扎情況，觀察前後狀況是否有區別。使用繪圖軟體繪製蛛網簡圖，並利用筆刷大小工具區別水珠的尺寸。
2. 選擇一張照片為基準，選取一小範圍計算水珠分布位置（圖六）。使用 Geogebra 定位第一張照片兩縱絲間距離（圖七），使每張網數據的密度差不多，減少網大小不一造成的誤差。將欲研究網上的兩縱絲縮放置基準距離，計算與第一張網相同範圍水珠的數量（圖八）。



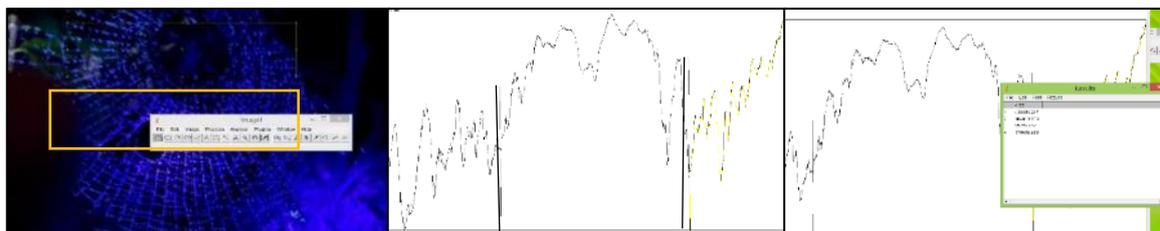
圖六：基準圖

圖七：兩縱絲距離定位

圖八：界定範圍

(二) 水珠在蛛網上的功能

1. 且因昆蟲（獵物）及鳥類（捕食者）可看到紫外光（焦傳金，2006），因此在晚上將濕潤蛛網照射在紫外光下觀察紫外光反射情形。使用光譜儀檢測紫外光分別照在蛛絲、大小水珠時反射出的光波是否一致，推測昆蟲等可見紫外光生物因水珠對蜘蛛生態的影響。



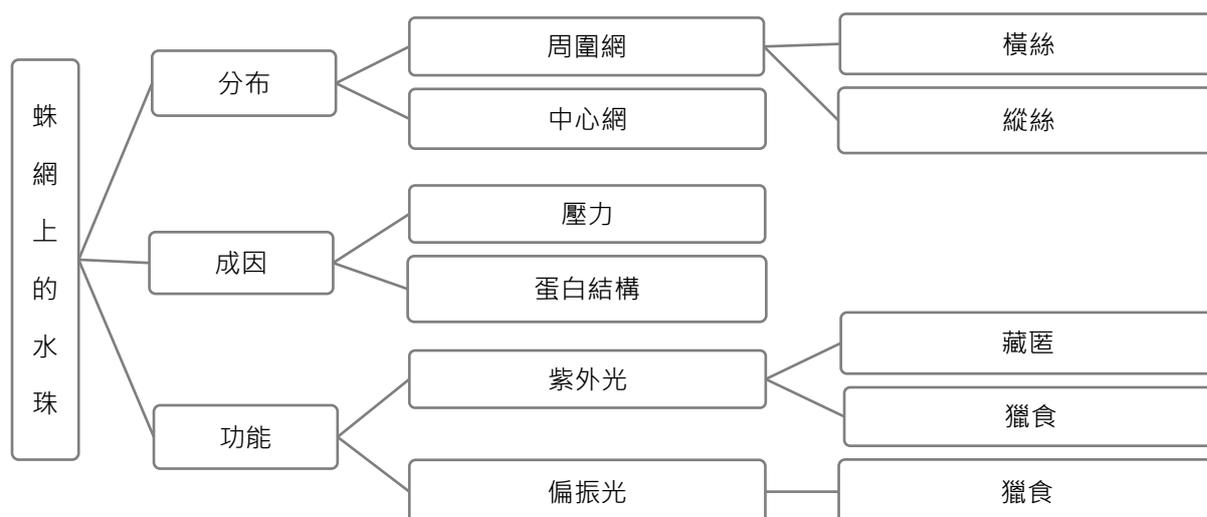
圖九：使用 ImageJ 測量紫外光在周圍網和中心網的亮度

2. 因蛛絲在不同角度出現的偏振不同，因此以玻璃作為偏振 90 度的蛛網，貼上膠帶後為 0 度蛛網，測試在不同顏色背景蝴蝶飛行方向。



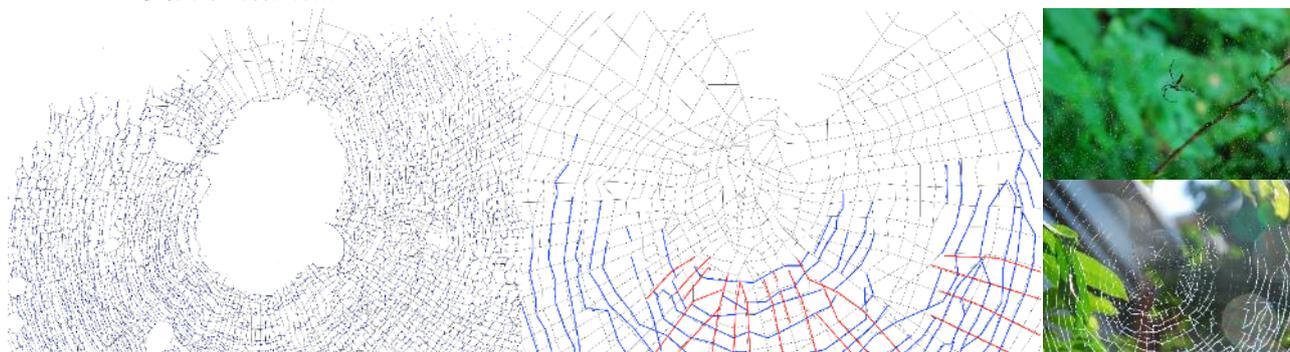
圖十：一般偏振、加厚偏振、實驗環境

五、實驗流程圖



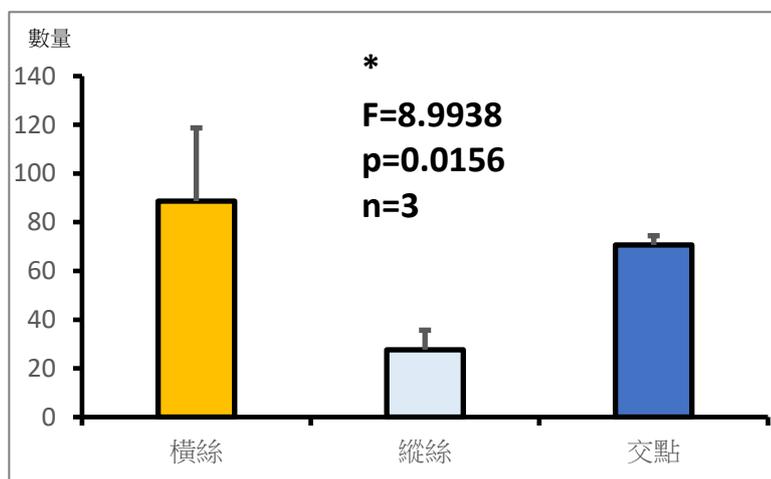
貳、正文

一、實際拍攝對照



圖十一：照片與簡圖

如圖十一，在人面蜘蛛的網上灑水時，中心及上方網均不容易有水珠形成，推測原因如下：1.據 Claire Asher (2016) 所說橫絲較容易有水珠形成。因此上方網橫絲密集度較下方周圍網低很多。2.蜘蛛在上方所織的網與沒有黏性的縱絲相同，因網中心市蜘蛛長期停留的地方，其上方若有獵物太重或蛛絲黏性不夠，可能出現下落砸到蜘蛛的風險。3.林和李 (2004) 的發表提到蜘蛛腳上使他不會被自己的網黏住的油脂，在多次走在黏絲上時，會降低橫絲黏性，因此在觀察中蜘蛛會主動在網中心及上方來回行走，降低橫絲黏性後，上方也就不太會有水珠掉下來。如圖十一，發現水珠在下方網較密集，除網中心本來就偏上方，下方周圍網面積較大之外，水珠經過上方絲線被分裂成兩個較小的水珠，也比較容易留在絲線上。



圖十二：局部水珠數量計算平均數長條圖

根據上方長條圖，資料整合中的 p 值小於 0.05，顯示三者關係具有差異。發現周圍網水珠數為橫絲 > 交點 > 縱絲，與預期結果相符。在 Claire Asher (2016) 的發表中，橫絲上有黏性蛋白，可以匯聚水珠。且在趙依祈 (2003) 的研究中，蛛網的縱絲與網中心材質相同，因此縱絲水珠數最少的結果也與推測相符。

二、紫外光在濕網不同位置的反射

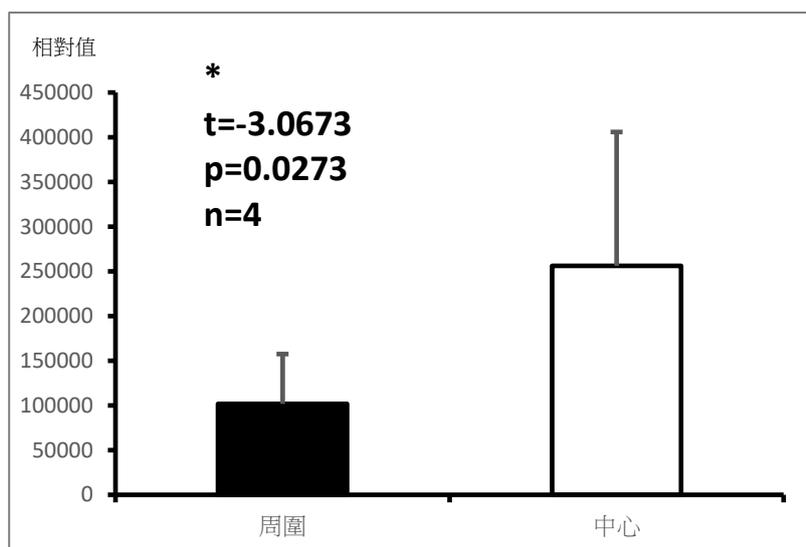


圖十三：紫外光周圍網、網中心



圖十四：蜘蛛本體

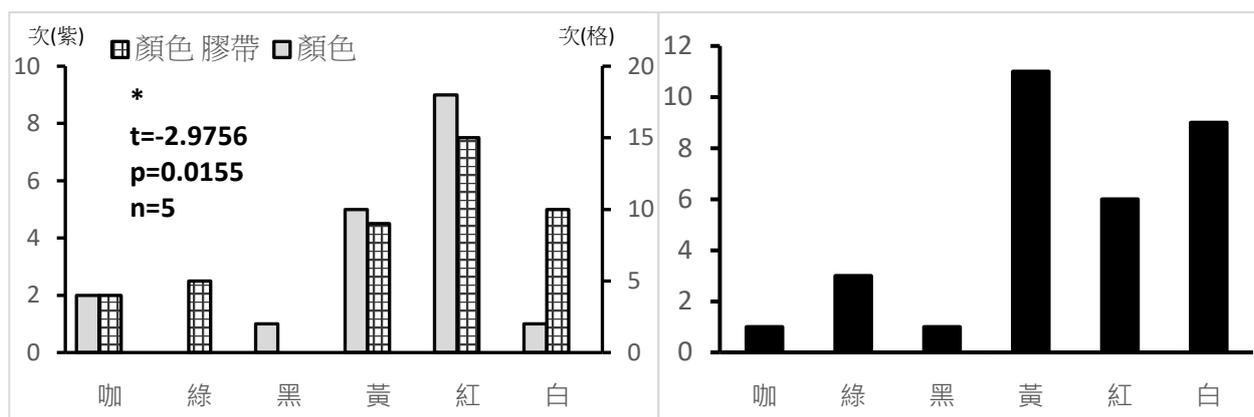
紫外光照射在周圍網的反射光較中心網多，且範圍也較大。除此之外，兩位置反射出紫外光的樣式也不太一樣，網中心為光滑且結構分明的絲線；周圍網會出現接近一個平面的密集反射，且反射紫外光的絲看起來也較原先的絲線粗，甚至有多重影像出現。但昆蟲為複眼，看到影像可能與人類不同，不確定多重影像是否對蜘蛛捕食有影響。



圖十五：周圍網、中心網亮度測量平均數長條圖

在上方長條圖中， p 值結果為 0.0462，小於 0.05，顯示周圍網和中心網的亮度具有差異。昆蟲對紫外光也有趨光性，此差異可能和捕食有關。在紫外光照向蜘蛛時，特別是牠在網中心，其腹部反射非常明顯。在焦傳金（2006）的發表中表示，這是在模擬花序藉以吸引昆蟲。另外，在 Craig, etc（1990）的論文發現在有能反射紫外光裝飾物的網截獲的昆蟲數量多於未裝飾的網。因此推測周圍網反射較多紫外光也有吸引昆蟲的用意在。得出結果為昆蟲會被較大量紫外光反射吸引。

三、偏振對蜘蛛捕食影響



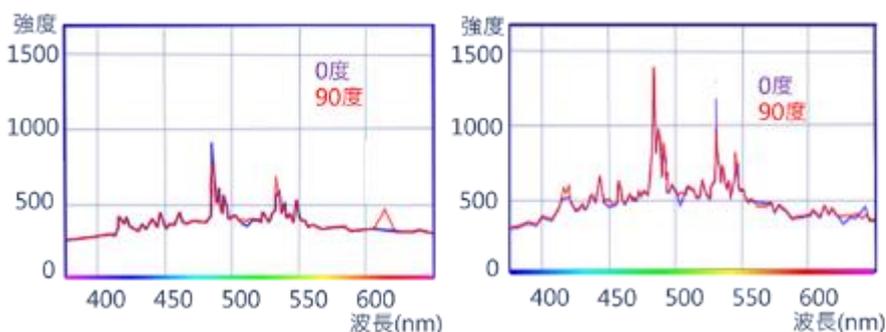
圖十六：偏振對蝴蝶顏色趨性影響 圖十七：黑色偏振加厚對蝴蝶顏色趨性影響

在上方長條圖中，p 值結果為 0.0155，小於 0.05，顯示在有無偏振環境下蝴蝶對顏色的敏感度不同。由數據可發現，雖然蝴蝶還是會飛向紅色與黃色，但綠色與白色出現的機率大幅增長。結合偏振結果，濕潤蛛絲應有助於吸引獵物。

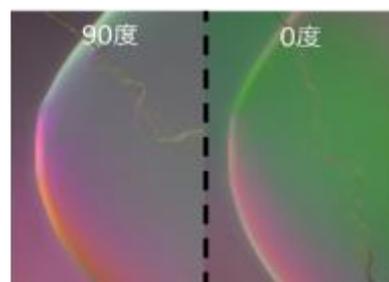
將黑色偏振片加厚之後（左下窗），黃色（右下窗）吸引到蝴蝶次數最多，高於紅色，除這兩者外其他顏色對蝴蝶的趨勢都與圖十七差異不大，且對加強偏振的顏色本身機率依然較低。因此推測偏振強度對蝴蝶飛行方向與對顏色趨性有影響。也因為黑色加厚對黃色影響最大，推測偏振影響蝴蝶飛行方向為左右。

四、水珠加偏振對蜘蛛捕食的影響

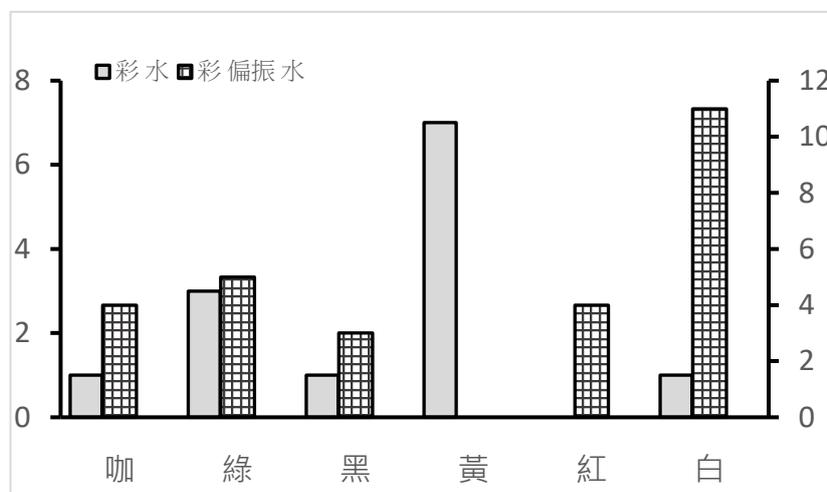
水珠在偏振後主要會在邊緣的位置產生紅色及綠色光，絲線則在 90 度為綠色，0 度無偏振。根據資料，蜘蛛主要的獵物：小型鳥類及昆蟲，皆能看到紫外光及偏振光。其中他們的敏感色光以紅、黃、藍、紫為大宗。



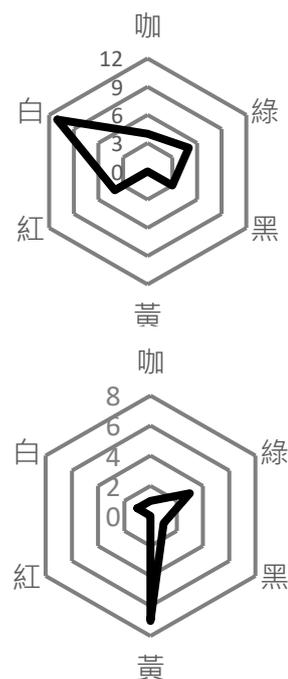
圖十八：偏振片水珠、水珠+蛛絲光譜



圖十九：水珠+絲線偏振



圖二十：彩色背景上有無水珠比較



無偏振時，蝴蝶往黃色飛居多；偏振時則以白色為大宗。白色為綜合光，因此可以推測蝴蝶在有水珠的偏振上會朝光較多的方向飛，而蛛絲反光最多的地方是有水珠的周圍網橫絲上（紫外光），在偏振後光度較低的環境有優勢。無偏振時的狀況同圖二十，90 度水珠加絲線，結合圖十七，加強偏振者本身使蝴蝶飛向的機率較低，因此能推知蝴蝶不朝紅色飛是因為水珠在 90 度時的偏振為紅色。

此外，蜘蛛在織網時會將黃色的花粉織入網內（Nicholas Wade 2004）。綜合（一）（二）（四），得到因下方網較密集，因此偏振的效果較大，又下方網左右互相影響，且網中鑲入黃色花粉以及人面蜘蛛本身以黃色居多，因此能大限度地吸引獵物。

五、蜘蛛偏振

因測試後發現在無偏振時黃色蝴蝶飛往黃色機率較高，而人面蜘蛛本身黃色居多，因此測試人面蜘蛛本身顏色在偏振上的差異。



圖二十一：人面蜘蛛偏振 90 度(上)、0 度(下)比較

從上圖中可發現人面蜘蛛的組成色與他主要獵物的敏感色相近，且可看到在 0 度時紅色及黃色明度及彩度明顯下降，黑色範圍變多。從圖十六可知，無論是否偏振，蝴蝶飛向黑色的機率都偏低，且 0 度時絲線不偏振，由圖十七可知蝴蝶會朝黃色，在此時降低蜘蛛本體的黃色才能避免干擾蛛網上的黃色花粉誘捕獵物，同時也保護本體不受傷害。

參、結論

一、水珠在蛛網上的分布狀況

- (一) 橫絲 > 交點 > 縱絲 > 網中心
- (二) 網下方 > 上方

二、探討水珠為蜘蛛生態帶來的影響

- (一) 側面照光，反射水珠的光較直面多。
- (二) 紫外光照射周圍網會有「閃爍」效果，照射中心則不易反射。
- (三) 越大的水珠能反射較多紫外光。
- (四) 經偏振片旋轉後會產生紅、綠光，蛛絲則在不同方向出現綠光或無偏振。
- (五) 偏振對飛行類獵物影響較大為橫向，且對加強偏振者本身影響不大。

肆、引註資料

Wonjung Kim (2016) . Three Possible Fates for Water Droplets Hitting a Copper Wire (VIDEO). **AAAS / EurekAlert**.

Claire Asher (2016) . Video: How spiderwebs stay tense. **Science / AAAS**.

Craig, C. L., Bernard, G. D. (1990) . Insect attraction to ultraviolet-reflecting spider webs and web decorations. **Ecology**, 71, 616-623 .

Jonathan M. Douglas, Thomas W. Cronin, Tsyr-Huei Chiou, Nathaniel J Dominy (2007). Light habitats and the role of polarized iridescence in the sensory ecology of neotropical nymphalid butterflies. **Journal of Experimental Biology**, 210, 788-799.

Nicholas Wade (2004). **The Science Times Book of Insects**. 臺北市：胡桃木。

姜海鳳、侯立安、張林（2018）。空氣取水非常規技術及材料、裝備研究進展。 **高校化學工程學報**，32。

林翰農、李蔡彥（2004）。虛擬蜘蛛建網及步行的互動式模擬系統。國立政治大學資訊科學系。

焦傳金（2006）。動物的色彩視覺。 **科學人雜誌**，54。

呂春（2011）。探詢都市鳥類“鳴叫異化”的奧秘。 **綠化與生活**，2。

賈雷波（2015）。偏振光視覺——昆蟲的全球定位系統。