

## p2 圓網蜘蛛面對風干擾的可塑性

文·圖一 廖鎮馨

### 風干擾對蜘蛛的負面影響

大多數的捕食者往往依賴身體的某些具有攻擊性的器官及迅捷的移動能力作為捕食的利器，但有些捕食者則利用自製的陷阱制服獵物，其中以結網蜘蛛最為引人注目。早在2億年前的侏羅紀早期，蜘蛛已演化出在空中結網的行為而成為飛行性昆蟲最主要的無脊椎捕食者。

最常見的蜘蛛網類型是典型圓網(圖1)，最常見者為鬼蛛科(Araneidae)蜘蛛所建構。典型圓網中主要由2種絲構成，分別是通過網中心且呈輻射狀的「縱絲」，以及一圈一圈螺旋狀且具有黏性的「橫絲」所組成。縱絲的機械性質偏向高硬度與高強度，其主要的功能為維持網的張力並吸收獵物衝擊的動能而轉化為熱能；橫絲的功能則是利用附著於橫絲上密密麻麻的微小黏珠達成黏性，將獵物糾纏於網上，具有低強度但高延展度之機械性質。

在空中的蜘蛛網必須面對風可能把蜘蛛網吹破的嚴重挑戰。網被風破壞後，蜘蛛花費在分泌蜘蛛絲蛋白與織網行為的昂貴能量成本是嚴重的損失。除了對網結構的破壞，風干擾亦對蜘蛛的捕食有負面影響，包括了干擾獵物上網後傳遞訊號的失真與網結構的不穩定造成蜘蛛需花費更長的延遲時間來處理獵物，同時也增加了獵物從網上逃脫的機會。

風干擾對網上的黏絲同樣有負面影響。在風干擾過後，相鄰的黏絲容易因網受風飄動而相互黏著，造成網目空隙增加而降低捕食功能(圖2)。黏絲上的黏珠具有高比例的水份以達成黏性，而風流動容易使黏珠脫水而大幅降低黏性。綜合以上風干擾對蜘蛛生存造成的負面影響，推論結網蜘蛛

對於風干擾勢必存在特定的演化適應或行為可塑性。

### 結網與吐絲上的可塑性

以流體力學而言，降低風干擾最有效的途徑是降低風阻。在固定其他條件下，風阻與截風面積成反比。在野外及實驗室操作型多項研究指出，當固定風向長時間出現在生存環境的情況下，結網蜘蛛傾向將網的延展方向與風向平行，或在風干擾情況下，傾向增加網上的孔洞大小以減少網捕食的涵蓋面積，以有效降低截風面積。蜘蛛將圓網的外圍築成接近圓形而非捕食效率較高的橢圓形，亦可提高網對風干擾的抵抗性質。蜘蛛也傾向在風干擾環境下，更頻繁地修補破損的蜘蛛網以延長網的使用壽命。

除了調整網的幾何性質與方向，調整網及絲的機械性質亦可以降低網受風損壞的機會。結網蜘蛛在面對風干擾後傾向增加圓網張力，可降低網受風飄動的震動幅度。圓網張力主要於縱絲在輻射方向的拉伸所貢獻，但蜘蛛可能並非藉由增加網上縱絲的數量以增加整體的網張力，且在實驗室的風干擾實驗中顯示：蜘蛛在有無接受風干擾後大壺狀腺絲之胺基酸組成並未呈現明顯變化。這些結果暗示，蜘蛛在經歷風干擾後，其大壺狀腺絲的機械性質具有可塑性，且這樣的可塑性應不是絲基因層次，而是在蜘蛛絲分泌過程中調整其體內分泌環境而達成。

### 絲分泌過程的可塑性

蜘蛛絲並非以固態成品的方式儲存於蜘蛛體內，而是在絲腺體分泌絲蛋白之後以液態的絲蛋白儲存於囊中，待體外的大壺狀腺絲被持續拉出時，絲蛋白會經過一狹長的管道，伴隨著主動離子交換、脫水、酸化與蛋白分子與管壁摩擦的交互作用，絲蛋白內的蛋白次級結構會排列成較平行一致的方向，且肽鍊之間形成大量氫鍵相互鍵結。在此過程中，受限於個體發育、營養條件、拉絲速度等體內生物因子皆對蜘蛛絲之微觀結構有顯著影響，進而影響絲整體甚至網的機械性質。

為驗證蜘蛛面對風干擾時，是否可藉由改變絲的微觀結構而改變大壺狀腺絲之機械性質，我以喜好棲息於東南亞低海拔開闊多風干擾地區的二角塵蛛(*Cyclosa mulmeinensis*)為研究對象。在將蜘蛛及其網帶回實驗室馴養之後，將蜘蛛隨機分成二組，分別施予1.5 m/s速度之風干擾與無風干擾，待7日處理後將蜘蛛自網上取下並拉出體內之大壺狀腺絲。所有蜘蛛取出的絲樣本皆再分成二群，其一會直接測量絲機械性質，另外一群會

先進行加溼處理以破壞氫鍵，使絲「退化」至類似尚未經過「加工」的原始蛋白(稱超收縮現象)再測量其機械性質。結果指出，常態下的絲樣本在風處理組之間存在差異；風處理之絲具有較高的強度、延展度及韌度。然而，加溼後的絲樣本在二處理相之機械性質非常相似。因此，可以推論二角塵蛛可藉由絲分泌時在體內進行不同的「加工製程」，使絲性質傾向強韌以面對風干擾的挑戰。

雖然風干擾對蜘蛛生存造成各方面的衝擊，但結網蜘蛛則演化出了網幾何性質及絲性質的可塑性予以抗衡。然而，這些因應風干擾的調節亦勢必有其成本。較小風阻的網會有較差的獵物攔截效率，而生產較強韌的絲亦可能需要更多的主動離子調節而更加耗能。蜘蛛如何權衡二者得失以達到最佳覓食效率，並且吾人如何將這些可塑性延伸至材料科學與仿生學應用，將是未來可探討的研究方向。

## 尋訪PM2.5

文·圖一周溫雅

每年一進入秋冬時節，有過敏症狀的人，早上醒來，或許就開始流鼻水或咳嗽。再看看窗外的天空，灰濛濛一片，到底是霾還是霧？是空氣不好還是陰天？如果你沒辦法自行判斷的話，請打開監測空氣污染APP(註1)，如果是PM2.5數值偏高，那麼就減少外出或進行戶外運動，如要出門也別忘了做足防霾的準備。霾裡面藏著PM2.5(particulate matter 2.5)，它是粒徑大小等於或小於2.5微米( $\mu\text{m}$ )，是俗稱細懸浮微粒的污染物質。肺癌是臺灣近年來成長最快速的癌症，與PM2.5脫不了關係，醫學界也開始正視這個影響因子。世界衛生組織(WHO)之國際癌症研究署(International Agency for Research on Cancer, IARC)在2013年將PM2.5判定為肺癌的一級致癌物，所以這個議題與每個人的健康息息相關，不容忽視。

科博館今年與環保署合作辦理108年度「宜居城市—守護藍天淨空氣」補(捐)助環境教育(續第3版)



圖1 文史工作者解說焚燒金紙的文化意涵



圖2 可攜式PM2.5空氣盒子即時檢測現地空氣品質



圖1 典型的蜘蛛圓網，其直徑約20公分。



圖2 受風干擾後，黏絲相互黏著的破損蜘蛛圓網，其直徑約20公分。



圖3 成熟的二角塵蛛，其體長約4 mm。下方與左上方白色碎屑為蜘蛛刻意累積在網上的獵物殘渣。



圖4 在顯微鏡下取二角塵蛛的絲。銀白色物為石蠟膜用於固定蜘蛛，而中央黑色區域為蜘蛛腹部用於拉出蜘蛛絲的吐絲器官。