

天使的翅膀——昆蟲的翅

The Wings of Angels: Insect Wings

蔡志偉 國立臺灣大學昆蟲學系

Tsai, Chi-Wei Department of Entomology, National Taiwan University



圖1 只有一對翅的麗蠅

昆蟲是陸地上最普遍的節肢動物，具有三對足及兩對翅，是唯一能飛翔的無脊椎動物。此外，與昆蟲一起佔據廣袤天空的脊椎動物有鳥類與蝙蝠。「翅膀」是鳥類的飛行器官，利用強壯的飛行肌與飛羽，鳥類可以翱翔於空中。蝙蝠則是利用獨特的「翼手」飛行，翼手是由指骨末端至肱骨、體側、後肢及尾巴之間的柔軟而堅韌的皮膜所形成。其中鳥類的翅膀與蝙蝠的翼手，都需要特化的前肢用來飛行；而昆蟲的「翅」則是由胸部靠近背板的兩層幾丁質外骨骼向外延伸所組成，並沒有犧牲掉前肢的功能，就如同天使的翅膀。昆蟲利用飛行肌與胸腔的變形，讓兩對翅上下煽動，並運用前後翅的巧妙連結，進行十分有效率的飛行。昆蟲千奇百怪，蘊含無數的生命奧秘，僅僅是牠們的翅就令人嘆為觀止。本文詳細介紹翅的構造、形態與特化，並且介紹一些大眾較為陌生關於昆蟲翅的小秘密。

什麼是昆蟲？

我們可以簡單地從外觀來辨認昆蟲，依照以下幾個重要特徵來確認：1. 昆蟲屬於節肢動物，身體和附肢

前言

昆蟲是陸地上最普遍的節肢動物，具有三對足及兩對翅，是唯一能飛翔的無脊椎動物。

(如觸角、足)由許多節組成；2. 具有堅硬或具韌性的外骨骼；3. 可以明顯地區分出頭、胸、腹三個部份；4. 頭部通常有一對觸角、一對複眼和一副口器；5. 胸部背面通常長有兩對翅，而胸部下方著生三對足。

但是，並不是所有昆蟲都具備了上述這些特徵，還是有許多昆蟲少了其中某些的特徵，例如，蠶寶寶的身體軟軟的(雖然也有外骨骼)、盲蟻沒有眼睛、蒼蠅只有一對翅(圖1)、跳蚤甚至沒有翅、蛺蝶科的蝴蝶，前腳特化成棍狀縮在胸前，所以看起來只剩兩對足(圖2)等等。這些通則之外的變化就是需要我們花時間去學習、辨認了！

昆蟲的翅

昆蟲的身體可以劃分為頭、胸、腹三個部份。頭部是昆蟲主要的感覺中心和攝取食物的部位，頭部具有觸角、複眼、單眼、口器。胸部主要負責運動，可再細分成前胸、中胸、後胸三個胸節，每一胸節由背板、側板、腹板組合而成。昆蟲的成蟲通常於各胸節的側板、腹板之間，著生一對足(共三對)；在中胸及後胸的背板、側板之間，著生一對翅(共兩對)。腹部一般較為柔軟，為消化器官和生殖器官所在，約有十節，最末端具外生殖器；雌蟲腹部末端的產卵器各異，有的細長、有的如刀狀，胡蜂、蜜蜂工蜂的產卵器則特化為螫針。



圖2 蛺蝶科的蝴蝶看起來只有兩對足



圖3 蜻蜓的翅無法沿著腹部向後折疊收起(蔡志偉攝)

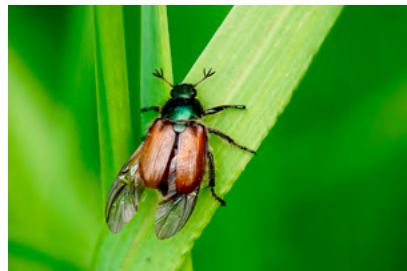


圖4 金龜子的後翅在停棲時會折疊收藏於翅鞘之下保護



圖5 蜉蝣的翅脈複雜細密

昆蟲的翅多半為兩對寬大的薄膜狀構造，是為飛行的器官。若蟲僅有翅芽，幼蟲是沒有翅的，只有成蟲才有發育完整的翅。大多數的種類中，後胸各有一對翅，位在中胸的稱為前翅，後胸的稱為後翅。休息時昆蟲的翅依種類不同呈現展開、疊合或呈屋脊狀。蜻蜓、蜉蝣具有固定的翅(圖3)，無法沿著腹部向後折疊收起；其他種類昆蟲的後翅通常會疊合於前翅之下，例如金龜子寬廣的後翅在停棲時會迅速地縱向折疊與橫向折疊，收藏於前翅(翅鞘)之下保護(圖4)。

昆蟲的翅由胸部靠近背板的兩層幾丁質外骨骼向外延伸所組成，由於這兩層外骨骼都很薄，所以翅面呈透明狀或半透明狀。昆蟲的翅膜質、量輕、堅韌富彈性，能承受昆蟲在飛行中產生的升力，翅面上管狀的骨化翅脈具有支撐翅面的功能，依據延伸方向分為縱脈與橫脈。主翅脈通常為縱脈，在主翅脈內有氣管、神經，甚至有血淋巴分佈其中，靠近翅基部之翅脈較粗大，靠近翅外緣之翅脈較細。有些昆蟲翅脈複雜細密，如蜉蝣、蜻蜓、草蛉等(圖5)；也有些昆蟲翅脈稀少，如行寄生生活的小蜂僅有少數幾條翅脈。翅面並非完全呈平面狀，而是在翅脈間成凹凸波紋狀，在飛行中，昆蟲的翅面如風帆般，可因需要而極度變形，產生升力以利飛行。

翅的特化型態、翅脈與翅室是昆蟲重要的分類特徵。例如，前翅特化成硬鞘的甲蟲被歸類稱為「鞘翅目(Order Coleoptera)」；前翅細長、翅脈密集多縱脈的蝗蟲、蟋蟀等昆蟲被歸類稱為「直翅目(Order Orthoptera)」；前翅基部增厚革質、端部膜質的椿象被

歸類稱為「半翅目(Order Hemiptera)」；前翅呈短小革質的蠍蝨被歸類稱為「革翅目(Order Dermaptera)」(圖6)。還有，「鱗翅目(Order Lepidoptera)」的蝴蝶與蛾類前後翅面皆覆蓋多彩的鱗片；「纓翅目(Thysanoptera)」的薊馬前後翅狹長具緣毛，狀似線繩等做成穗子的纓；「雙翅目(Order Diptera)」的蚊、蠅、虻類僅有一對翅，後翅特化成一對平衡棍。

白蟻、蜻蜓等昆蟲的前後翅單獨活動，多數昆蟲的前翅與後翅具有聯繫結構，可以藉此達到連動的目的。從空氣動力學的角度來看，多數昆蟲的前後翅同時拍動，與原始有翅昆蟲相比有較高的飛行效率。胡蜂、蜜蜂的後翅前緣有一排鉤刺(圖7)，可以勾住前翅後緣的反摺處，使前後翅連結一起。鱗翅目的蝶蛾類則依照種類不同，有多種前後翅連結方式。蝴蝶前、後兩片扇形翅的邊緣作廣泛的重疊，稱為「貼接式結合」；蛾類前後翅的連結構造則是利用位於後翅基部一或多根的「翅刺」，飛行時會被位於前翅基部的「抱帶」夾住，藉此達到連動的作用；「翅垂」是蛾類另一個用於連接前後翅的構造，前翅後緣基部有一個形似耳狀的凸起，後翅前緣基部可以勾住翅垂，使前後翅連結一起。



圖6 屬於革翅目的蠍蝨

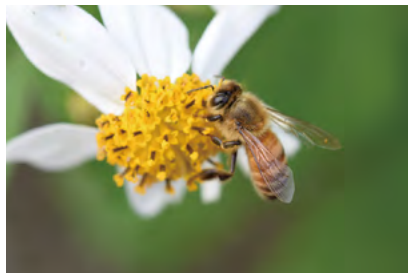


圖7 蜜蜂的後翅前緣有一排鉤刺用以勾住前翅(周易萱攝)



圖8 锹形蟲的前翅特化成翅鞘保護後翅與腹部(蔡志偉攝)



圖9 荒菁的翅鞘柔軟不若其他甲蟲(蔡志偉攝)



圖13 東方水蠅的兩對翅都退化成翅芽(李威樺攝)



圖14 大蚊的後翅特化成平衡棍(林韋宏攝)



圖15 草蟬具有兩對透明膜質狀的翅(蔡志偉攝)

翅的特化

昆蟲的成蟲通常具有兩對翅，其功能不只是飛行，因應各種不同的生活習性，有些昆蟲的翅會特化為翅鞘、半翅鞘、翅覆、平衡棍、鱗翅、膜翅、纓翅等不同型式，而這些翅的特徵也成為昆蟲分類的重要依據。

翅鞘

甲蟲的前翅特化成硬鞘，覆蓋保護後翅與腹部(圖8)，已經不具飛行之功能，僅由膜質狀的後翅負責飛行。獨角仙、锹形蟲、天牛、金龜子等大家熟悉的甲蟲都具有一對堅硬的「翅鞘」，昆蟲學家將牠們歸類稱為「鞘翅目」。也有少數鞘翅目昆蟲(如荒菁、菊虎、紅螢、螢火蟲)的翅鞘柔軟，不若其他甲蟲(圖9)。有趣的是，還有一些種類因為牠們特殊的生活習性，而捨棄飛行能力，例如擬食蝸步行蟲與球背象鼻蟲，牠們的左右翅鞘相癒合、不具有後翅，喪失飛行能力。隱翅蟲看起來不像是甲蟲的一員，顧名思義牠的翅隱藏了起來，前翅短小露出大部分的腹部，狹長的後翅在停棲時會迅速地折疊三層收藏於前翅(翅鞘)之下保護。

半翅鞘

椿象的前翅靠近胸部的基部是厚而堅韌的革質，後

半部則是質地薄而半透明的膜質，昆蟲學家將其稱為「半鞘翅」(圖10)。與甲蟲的翅鞘不同的是，椿象的半翅鞘會協同膜質的後翅一同執行飛行之功能。種類繁多的椿象、田鰲、紅娘華、水黽都具有一對半翅鞘，昆蟲學家將牠們歸類稱為「半翅目」。有一些椿象類群(如龜椿象、盾背椿象)的前胸背板後方的小楯片發達，往後延伸將前翅與後翅完全覆蓋，多種盾背椿象更具有藍綠色光澤，看起來活像一隻金龜子(圖11)。如果我們湊近觀察仔細，沒有一分為二的小楯片與椿象特有的臭味，讓牠們馬上露了餡。再仔細端詳，盾背椿象也有著與金龜子不同的刺吸式口器與具五節的絲狀觸角。

翅覆

蝗蟲、螽斯、蟋蟀等這一類群昆蟲的前翅為質地較厚、堅韌的革質，仍然具有飛行之功能，也可以保護薄膜狀的扇狀後翅與腹部，這對加厚革質的前翅，昆蟲學家將其稱為「翅覆」(圖12)。另外，螳螂與蟑螂也具有一對翅覆與一對扇狀後翅喔！不論是稱為翅覆的前翅或扇狀後翅都具有許多縱脈與橫脈，形成緻密的網狀構造。昆蟲的多樣性這麼地高，當然也有些蟋蟀、螳螂捨棄了飛行能力，於森林地面落葉堆活動或

是生活在地下洞穴中。例如，東方水蠅棲息於戶外，白天都躲在朽木樹皮下、枯葉、土堆縫隙裡，兩對翅都退化成翅芽(圖13)；蟻蟋體小短胖、無翅，共生於螞蟻巢內，會偷吃螞蟻的食物甚至幼蟲。德國蟑螂早已進入人類居家當起令人討厭的食客，大概是日子過得太舒服了，也放棄了飛行能力，雖然還有兩對翅，但是控制飛行的肌肉已經退化。

平衡棍

蚊、蠅、蛇類等昆蟲看起來僅有一對翅，昆蟲學家將牠們歸類稱為「雙翅目」。其實雙翅目昆蟲的後翅並沒有消失，而是特化成為細小、末端膨大之「平衡棍」(圖14)，狀似一對鼓棒。這一類昆蟲於飛行時，平衡棍迅速地振動，其振動頻率與前翅相同，但方向却相反。當飛行的路徑發生偏移時，平衡棍的頂端較重，傾向於使平衡棍一個平面上拍打，而使平衡棍的柄部、基部受到扭動，位於柄部、基部的感覺器官負責偵測這個扭力，然後飛行方向等訊息經由神經迅速地傳達到腦部。腦部分析了這個偏離的訊息後，就向一定部位的肌肉組織發出「命令」，立即糾正偏離的航向。蒼蠅的前翅具有高強度之前緣(前緣的翅脈最粗)及富有彈性易於變形的後緣，像似風箏的結構，再加上小而易於屈曲之平衡棍做為剛硬的後部支撐，使其能作大範圍之扭轉及機動靈活的飛行。堪稱昆蟲界中傑出的飛行員！

膜翅

大多數的昆蟲種類都具有膜質狀的翅，蜉蝣、蜻蜓、白蟻、蟬、草蛉、蠍蛉、胡蜂、蜜蜂等昆蟲具有兩對膜質狀的翅(圖15)，有些昆蟲的翅無色透明，有些具有顏色或斑紋。若有上述翅的特化之情形，另一

對翅也大多是膜質狀的翅。例如甲蟲的前翅特化成翅鞘，後翅扇狀膜質；椿象的前翅特化成半鞘翅，後翅為膜質；蝗蟲、螽斯等昆蟲的前翅特化成翅覆，後翅扇狀膜質。蚊子、蒼蠅等昆蟲具有膜質狀的前翅，後翅特化成平衡棍。直接以膜質翅命名的昆蟲類群稱為「膜翅目(Order Hymenoptera)」昆蟲，包括螞蟻、胡蜂、蜜蜂等各種蜂類。

鱗翅

蝴蝶、蛾類的身體及兩對翅上佈滿了鱗毛與鱗片，昆蟲學家將牠們歸類稱為「鱗翅目」。鱗片如屋頂之瓦片般層疊排列，構成鮮豔的顏色、美麗的圖案與花紋(圖16)。鱗毛與鱗片是由真皮細胞特化而來的扁平狀大毛，其表面具有微細縱溝，會反射特定波長的光。蝶翅的顏色根據產生的原理可分為「色素色」與「構造色」兩大類。鱗片上的色素會吸收某些波長的光而反射其他波長的光，呈現各種顏色；此外，鱗片上的細微溝槽使光線產生不同的反射、干涉和繞射等現象，因此從不同的角度觀看，會呈現不同的顏色變化，並有耀眼的金屬光澤。有趣的是有少數的蝴蝶或蛾類翅上沒有鱗片，可以清楚地看到翅脈，翅室如玻璃般透明。透翅蝶主要分佈在中美洲的墨西哥到巴拿馬之間，翅上沒有鱗片也沒有色彩，

可以輕易地施行「隱身術」隱匿於環境背景之中。在臺灣也有一種大透翅天蛾，如透翅蝶般有著透

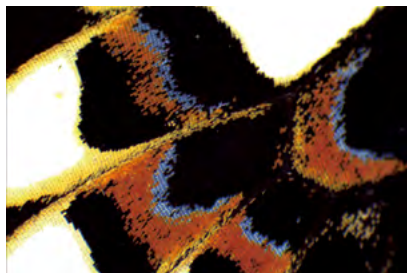


圖16 蝶翅上的鱗片構成美麗的圖案與花紋(黃千育攝)



圖10 紅姬緣椿象的前翅特化成半翅鞘(周易萱攝)



圖11 外型像金龜子的盾背椿象(蔡志偉攝)



圖12 蝗蟲的前翅特化成翅覆(李威樺攝)



圖17 薊馬的兩對翅邊緣密生長毛被稱為縷翅(蔡志偉攝)



圖18 衣魚屬「先天性無翅」的昆蟲(林韋宏攝)



圖19 跳蚤是典型的「後天性無翅」的昆蟲(林韋宏攝)

明、沒有鱗片的兩對翅，但是大透翅天蛾不像透翅蝶一樣翩翩飛舞，牠的振翅頻率極高、飛行快速，是個極速玩家。

縷翅

薊馬是一類體型細小的昆蟲，就連發育成熟的成蟲也通常僅 0.1 公分左右。多數薊馬具有兩對翅，翅狹長透明、翅脈極少、沿翅脈常生有小毛、邊緣密生細長縷毛。具緣毛的長翅，狀似線繩等做成穗子的縷，所以這種別具特色的翅型被稱為「縷翅」(圖17)，昆蟲學家將薊馬歸類稱為「縷翅目」昆蟲。縷毛密而細長可以增加翅伸展開來的面積，有助於飛行或是隨氣流漂浮。但是薊馬本身的飛行能力弱，長距離的移動還是需要借助氣流漂浮來達成。

關於翅的小秘密

望天興嘆的昆蟲(無翅昆蟲)

飛行是昆蟲類群得以稱霸地球的因素之一，但還是有些昆蟲種類因為牠們特殊的生活習性或棲息環境，而捨棄飛行的能力(如蝨子、跳蚤)。首先要說明的是發育成熟的成蟲才有翅，還沒發育成熟的幼體(昆蟲學家稱為若蟲或幼蟲)均無翅。家中舊書堆、舊報紙可能見到的衣魚是屬「先天性無翅」的昆蟲(圖18)，這類原始昆蟲是在翅演化出來之前便與其他昆蟲分道揚鑣了。其他的無翅昆蟲都有有翅的親戚(近緣種類)，牠們的兩對翅因為特殊的生活習性而無用武之地，甚至成為累贅，在長年的演化過程中退化了，昆蟲學家將這種現象稱為「後天性無翅」。

蝨子、跳蚤寄生於哺乳動物與鳥類身體上，吸食寄主血液、咬食寄主的皮膚或毛髮，這樣飲血茹毛的生

活不需要飛行，所以在長年的演化過程中捨棄了牠們的翅。蝨子的身體背腹扁平，跳蚤的身體兩側扁平，都可以輕易地在毛髮間穿梭，沒有了翅反而能更輕易地活動(圖19)。雙翅目的蠅蠅、蛛蠅也大多寄生於哺乳動物與鳥類身體上，身形似蝨子、蜘蛛，也有許多種類不具翅。昆蟲的種類繁多且多樣性這麼地高，幾乎每一個「目」的昆蟲都有無翅的種類。直翅目的灶馬與蟻蟋、部分種類的竹節蟲(竹節蟲目 Order Phasmatodea)、蜚蠊目(Order Blattodea)的東方水蠊與部分種類的白蟻、嚙蟲目(Order Psocodea)的蛀書蟲(書蟲)與蝨子、半翅目的臭蟲(又稱床蟲)、長翅目的雪蠹蛉、膜翅目的工蟻與少數種類的小蜂都是無翅的昆蟲。其中有些種類的翅退化，變成不會長大的「翅芽」；有些種類則是完全無翅。

僅有一對翅的昆蟲

大多數昆蟲的中、後胸各著生一對翅，但是有些昆蟲種類僅有一對翅，最典型的是蚊、蠅、蛇類等雙翅目昆蟲，前翅長在中胸，後翅特化成一對狀似鼓棒的平衡棍(圖20)。撚翅蟲與介殼蟲的雄成蟲也僅

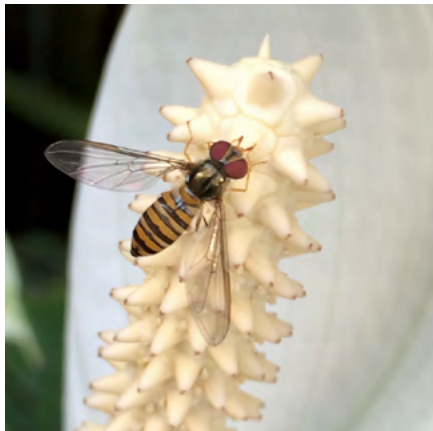


圖20 訪花的食蚜蠅是僅有一對翅的昆蟲(蔡志偉攝)

有一對翅，牠們體型微小，不易觀察，是一般大眾較為陌生的昆蟲。撚翅蟲是一類寄生椿象或蜂類的小型昆蟲，外形奇異，雌成蟲不具翅，雄成蟲的前翅特化成一對「假平衡棍」，長在後胸的後翅大型膜質、翅脈呈放射狀，像個大扇子。介殼蟲的雌成蟲也不具翅，雄成蟲的一對前翅脈相簡單，後翅則特化成一對鉤狀結構，與蚊蠅平衡棍的構造不同。蜉蝣通常具有兩對翅，但是有些蜉蝣種類後翅甚小或退化不具後翅。

龐然大物

摩斯拉(モスラ)是日本東寶怪獸電影系列所創造的巨型昆蟲，牠的翅長度長達 250 公尺，但是這只可能出現於電影的場景之中，在自然界中是不可能出現如此巨大的蛾類。生活在古生代石炭紀的巨脈蜻蜓，其外形與現今的蜻蜓相去不遠，翅展卻可長達 75 公分，稱霸遠古時期的天空。為何當時的巨脈蜻蜓能長

得這麼的大？科學家認為是在石炭紀後期地球表面的空氣比較稠密，大氣含氧量很高(那時為30%，現今為21%)，因此可以支持以「氣管系」呼吸的昆蟲維持較大的體型。此外，稠密的大氣也可以給昆蟲飛行時提供額外的升力。無霸勾蜓是目前臺灣最大的蜻蜓種類，其翅展可達 13 公分，與巨脈蜻蜓相比較，就小巫見大巫了。英國倫敦自然史博物館昆蟲學家大衛卡特(David Carter)所著的《蝴蝶與蛾》一書指出皇蛾是目前世界上翅展最長的昆蟲，其翅展在 16~30 公分之間。據報載，臺東縣大武鄉山豬窟風景區於2002年4月25日發現一隻世界最大的皇蛾，展翅長達 41 公分，是目前最大的紀錄(圖21)。

長途飛行

除了在一一定的範圍內覓食、活動外，有些種類的昆蟲也會大規模地遷移。例如蝗蟲和分泌夜蛾(在中國被稱為粘蟲)都是飛翔力極強的昆蟲。飛蝗可成群結



圖21 皇蛾目前是世界最大型的蛾類(by Quartl, CC BY-SA 3.0)

隊飛行千里，對其路過的農作物造成到毀滅性的損害。在中國廣東一帶越冬後羽化的粘蟲，每年春夏成群飛越數千里到北方覓食。臺灣與日本的青斑蝶，也被證實可以完成一趟一千公里以上的跨海旅程，在另一地被捕獲。北美的帝王斑蝶季節性遷徙舉世聞名，牠們會於每年秋天向南遷徙，洛磯山脈以東的群族會遷徙到美國佛羅里達州的部分，或墨西哥中部的山區群聚越冬(圖22)，美西的群族會遷徙到美國加州中南部沿海地區過冬。過冬的一代一般都不會繁殖，直至隔年春天，牠們按照原來的路線北返時才會在旅途中產卵，之後由第二、第三或第四代羽化後接力北返，夏天時回到美國及加拿大原住地方的個體已經是第三或第四代的帝王斑蝶。由於南下與北返的個體並不是同一世代，牠們是如何隔幾代後仍能回到相同的過冬地點？則有待進一步研究。

在臺灣也有紫斑蝶的季節性遷徙，每年冬天來臨前紫斑蝶會往南遷飛，冬天時牠們群聚在臺灣南部的山



圖22 群聚越冬的帝王斑蝶

谷越冬，主要的越冬棲息地點在高雄茂林與臺東大武，隔年春天則在春分前後開始飛行北返到中部及北部地區生活。春天的北返路徑從茂林往北，大多沿著中央山脈西部山區與平原接壤地帶飛行，有的個體從臺東穿越中央山脈遠道而來，途中紫斑蝶會在雲林林內聚集後再一起飛越濁水溪，渡溪後到了八卦山台地再四散開來，然後在中部或北部生活、繁衍下一代。2005年，紫蝶志工首度記錄到單日超過百萬隻斑蝶通過國道三號林內段，並有大量紫斑蝶因車禍而喪命，之後在各界的努力下促成2007年「國道讓蝶道」的保育創舉。每年數以百萬計的紫斑蝶勇敢飛越國道的意象，以及國道高速公路局與全民一起守護紫斑蝶的保育觀念，如今已深植人心。

彈唱高手

昆蟲的翅不僅用來飛行，有時也用來偽裝自己(如枯葉蝶)、嚇唬天敵(如貓頭鷹蝶)，甚至可以當作樂器呢！記得小時候讀過一則《伊索寓言》，故事的大意是：一整個夏天，勤勞的螞蟻們辛勤地採集食物準備過冬，但是蚱蜢卻悠閒地躲在樹蔭下唱歌，還邀螞蟻一起玩樂。但是螞蟻沒有理會蚱蜢，反而提醒蚱蜢如不儲存食物，就過不了嚴峻的冬天。螞蟻辛勤了一整個夏天，蚱蜢卻玩了一整個夏天。到了大雪紛飛的冬天，螞蟻在屋子裡吃著溫熱的食物，貪圖享樂的蚱蜢找不到食物，又冷又餓，才知道後悔。故事的插畫有著一群

搬運食物的螞蟻，以及一隻彈著吉他高歌一曲的蚱蜢。插畫家畫了蚱蜢彈著吉他唱歌，十分地傳神，蝗蟲(蚱蜢)鳴叫發聲的原理確實像是彈奏吉他一般。

蝗蟲藉由後足腿節內側的一系列乳頭狀突起摩擦前翅上一條特別加粗的翅脈來發聲；而蟋蟀、螽斯等鳴蟲則是藉由前翅背面的硬化稜起摩擦另一片前翅腹面具規則凸起的翅脈來發聲(圖23)。蝗蟲後足的乳頭狀突起與蟋蟀、螽斯前翅的硬化稜起被稱為「彈器」，蝗蟲、蟋蟀、螽斯前翅的加粗翅脈被稱為「弦器」，就如同吉他演奏者用彈片撥動吉他弦來彈奏一般。這些鳴蟲彈奏情歌給雌蟲聽，目的是藉此獲得雌蟲的青睞，可以一親芳澤。有趣的是螽斯的彈器位於右前翅，弦器則位在左前翅上，而蟋蟀則是同一片翅上同時具有這兩種結構，也就是說螽斯只能以固定姿勢彈奏，蟋蟀卻能左右開弓呢！

蚊子、蒼蠅、胡蜂、蜜蜂等昆蟲飛行時會發出嗡嗡嗡嗡～的聲音，這是昆蟲的翅在空氣中振動產生的聲音。就昆蟲的飛行而言，振翅頻率的差異相當大，蚊子每秒約 600 次，蒼蠅為每秒 200 次上下，蜜蜂每秒約 250 次，而鱗翅目昆蟲的振翅頻率相當低，蝶類一般為每秒 10 次上下(圖24)。人耳能聽見的頻率在每秒 20～20,000 次之間，所以我們可以聽見蚊蠅的嗡嗡聲，卻只能看見蝴蝶的飛舞，而聽不見其飛行振翅的聲音。事實上，昆蟲振翅的音頻會依照種類、性別而有所不同，通常雄蟲比雌蟲會產生更高的音頻。大多數的情況下，昆蟲的振翅發聲並無特殊意義，但在某些昆蟲(如果蠅)的求偶過程中可以引起交配反應。

結語

昆蟲是無脊椎動物中唯一有翅的類群，在鳥類振翅飛向天空之前，昆蟲早在古生代石炭紀就已經稱霸天空。飛行使昆蟲在覓食、求偶、生殖、避敵和擴大分



圖23 臺灣騷斯的鳴聲響亮(林韋宏攝)

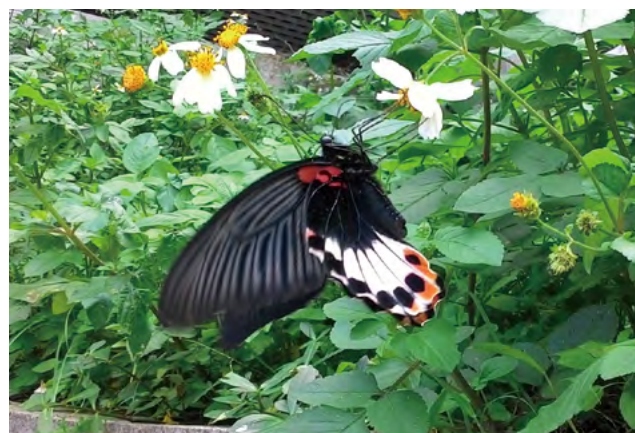


圖24 翩翩飛舞的大鳳蝶(蔡志偉攝)

布範圍等方面都遠比其他陸生動物要技高一籌，並成為昆蟲家族繁榮興旺的基礎。飛機、直升機等人造飛行器能夠飛向天際，需要非常多的機械儀器精密調控，才能控制其上升下降、方向轉換、控制速度及穩定飛行。昆蟲利用飛行肌與胸腔的變形，讓兩對翅上下煽動，只要稍加調整翅的角度，就能展現在急速飛行過程中急遽減速、懸空停住、翻轉、垂直上升、瞬間暴衝等令人驚歎的飛行技巧。甲蟲收放自如的內收折疊型後翅，具備目前人類技術難以達到的機械形變傳動性能；蜜蜂每秒煽翅約 250 次，一些蚋更高達每秒 1,000 次，因為它是一種目前人類技術不可能突破的撲動式飛行方式。難怪許多仿生工程師要師法自然，向昆蟲學習了。

參考文獻

盧耿。2008。圖解昆蟲學。商周出版，臺北市，327頁。
貢毅紳。1979。昆蟲學中冊。國立中興大學農學院，臺中市，763頁。
Gullan PJ and Cranston PS. 2014. The Insects: An Outline of Entomology. 5th ed. Wiley-Blackwell. 595 pages.