

昆蟲翅膀多面睇

投稿類別：自然領域

篇名：昆蟲翅膀多面睇

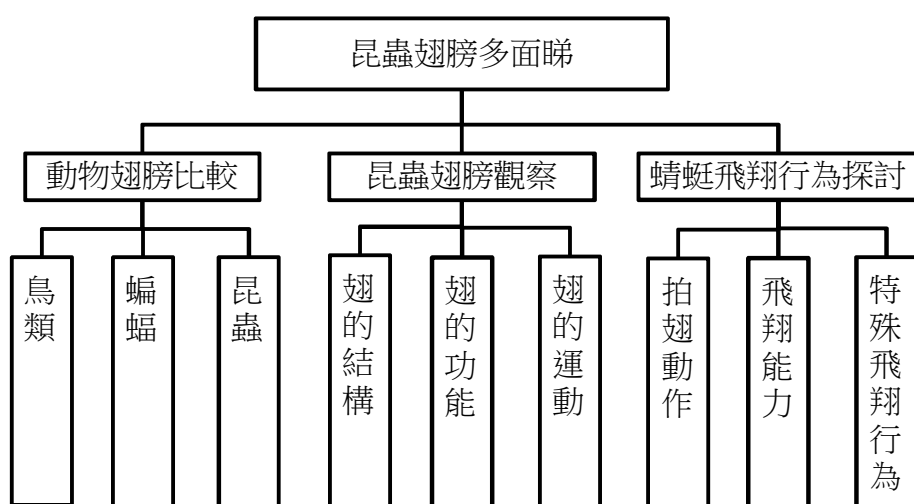
作者：黃昱維 華大附小 六年級  
王亭云 華大附小 六年級  
黃萱蓁 華大附小 六年級  
黃婕瑜 華大附小 六年級

指導老師：黃國靖

壹●前言

今天在校園看到一隻蝴蝶在花叢間飛舞，幾位同學就說我們去抓蝴蝶，剛開始我們七手八腳，衝來衝去，只見蝴蝶輕盈拍翅就能逃過我們的捕捉，來來回回試了好幾次，就聽到有同學說「不可能抓到的」。正當大家要放棄時，我們看到一隻蜻蜓，攤開雙翅，穩穩的停在離我們不遠的枝條上，我就改變策略，跟同學噓一聲，就躡手躡腳的慢步往前，就如電影中慢動作一般，慢慢伸手朝向蜻蜓，拇指和食指固定捕捉姿勢，慢慢向前伸，我的手和蜻蜓間只有幾公分距離，心想只要手指夾緊我就可以抓到了，手指正要用力合緊時，就聽到同學們相繼發出「呀」的一聲，原來蜻蜓飛走了，心想我都快感覺到手指碰觸到蜻蜓的翅膀了，怎麼還是抓不到。回家跟爸爸談到白天與同學抓蜻蜓的事，我爸就說「想不到你們給昆蟲打敗」；接著爸爸說「知己知彼才能打敗敵人，要瞭解動物飛翔器官結構和特性或許可以捕捉到吧」。

因此就展開我們對蜻蜓翅膀及飛翔行為的觀察與研究，首先我們擬定三個相關主題(動物翅膀的比較、昆蟲翅膀的認識和蜻蜓飛翔行為探討)(圖一)，擬定每週三下午(或隔週)及週末(不定期)一起討論上述問題，利用網路及圖書館收集相關問題資料，以口頭報告和交互討論方式進行，並整理成記錄報告。藉此培養大家遇問題要思考，集思廣益，學習如何利用網路資源尋找相關資料；並經由同伴間的分工，建立自我責任心及合作精神，從而體驗研究學習的樂趣。此外，配合實習實作及戶外教學觀察，親身體驗觀察相關之觀念與知識，提升研習興趣。最後，上述相關資料將依計劃時程上傳(活動集、札記本、藏書閣、相關連結)，並彙集於書面報告中。



圖一 昆蟲翅膀多面睇小論文研究架構

貳●正文

本研究欲瞭解蜻蜓為何可以快速而靈活飛翔？因此就由會飛翔的動物開始，到底有那些動物能夠飛翔？其飛翔器官為何？結構上可有差異？這就是本研究的第一個主題（動物翅膀比較）。初步瞭解各種飛翔器官後，發現昆蟲的飛翔器官尤為多變，不管在結構上或功能上都隨種類而不同；而且在戶外較容易找到昆蟲進行相關的觀察，因此就開始第二個主題探討（昆蟲翅膀觀察）；最後就是當初引起大家興趣的第三個主題（蜻蜓飛翔行為探討）。

一、動物翅膀比較

具有飛翔能力的動物就只有鳥類、蝙蝠和昆蟲，除上述三類動物外，有些動物能利用滑翔方式，從高處滑翔至低處，如鼯鼠、飛魚、飛蜥、飛蛙和天堂樹蛇等(會滑降動物,2010; 海陸空三種最致命的蛇:樹蛇能空中滑翔百米, 2010)。真正能飛翔的動物其飛翔器官結構上有很大差異（表一），如鳥類和蝙蝠的飛翔器官伸展是靠骨骼和肌肉，而昆蟲是翅基、翅脈和肌肉；因為前者骨骼屬於內骨骼，而後者屬於外骨骼。翅膀的數量就只有昆蟲是 1-2 對，而鳥類和蝙蝠都只有一對 (Animal Flight, 2014)。

表一 昆蟲、鳥類和蝙蝠飛翔比較。

飛翔器官	昆蟲	鳥類	蝙蝠
名稱及數量	翅(1-2 對)	翼(1 對)	翼手(1 對)
結構	薄膜、翅脈	羽毛	皮膜
動力提供	肌肉	肌肉	肌肉
運動	飛行肌連結翅基	翅肌與骨骼	翅肌與骨骼

鳥類為適應飛翔發展出輕而硬的骨骼，密骨骼較厚而呈中空，因而可減輕體重；此外，鳥類頸部、前胸和腹部後側都有充滿空氣的氣囊，氣囊除可減重，更能提供飛翔運動所需的大量氧氣。羽毛對鳥類飛翔十分重要，羽毛可以把亂流減到最低，因為羽毛覆蓋，使鳥類從頸、肩、背至尾部的體表曲線變得非常平順，也讓氣流滑暢流過身體(艾登堡,2003)。鳥類翅膀的大小形狀決定其飛翔特性，如長而寬的翅膀用於翱翔(禿鷹)、長而窄的翅膀用於滑翔(信天翁)、長而圓的翅膀適宜快速的短程飛行(雉雞)、尖而窄的翅膀擅於快速飛行(燕)(芭芭拉, 2002)。

蝙蝠的翼是兩層夾緊的皮膚，內有支撐的骨骼，翼膜由前肢掌骨及指骨特化伸長來支撐，股間膜由後肢及尾部支撐(林良恭等,2004)。蝙蝠翼膜含有彈性纖維，能讓雙翼繃緊，薄片狀的肌肉使翼膜平滑而形成特殊翼面。翼的形狀決定飛行特

性，兩翼寬短的蝙蝠，飛行速度慢，多屬地面覓餌或葉叢中檢食昆蟲維生；具狹長雙翼的蝙蝠，飛行速度快而能持續飛翔，常以空中捕捉昆蟲維生(威爾森, 2002)。

## 二、昆蟲翅膀觀察

### (一)翅的類型

不是所有昆蟲都具有翅膀，無翅亞綱昆蟲如原尾蟲、雙尾蟲、跳蟲、衣魚和石蛎等都不具翅，而有翅亞綱昆蟲中亦有一些種類不具翅，如跳蚤、蝨、特定種類的蜚蠊、竹節蟲、蚤蠊及寄生性種類等；還有些種類幼期不具翅，如鱗翅目、鞘翅目、膜翅目和雙翅目等(貢 1979)。具翅的昆蟲大多數具有兩對翅膀，即前翅和後翅，但少數昆蟲只具有一對翅膀，有後翅退化為平衡棍，如蚊蠅類；亦有前翅退化，如撚翅目昆蟲。

昆蟲翅膀多呈薄膜狀，而翅上有翅脈和翅室分布，由翅基至翅頂方向為縱脈，約垂直連結縱脈者為橫脈，不同種類翅脈多寡及其分布並不相同；而翅脈縱橫連結而圍成小室，稱之為翅室。翅脈和翅室分布就決定昆蟲翅膀的堅硬、柔軟、彎曲、摺疊等性狀，隨而影響昆蟲飛翔行為(Gullan and Cranston, 2004)。

### (二)翅的功能

昆蟲翅膀除主要提供飛翔能力外，部分不同種類昆蟲，其翅膀有不同特化情形，如鞘翅目昆蟲前翅特化成堅硬角質化翅鞘，提供保護功能。半翅目昆蟲，前翅基部角質化，後半部為膜質。雙翅目昆蟲後翅特化成平衡棍，直翅目昆蟲前翅革質變厚而形成翅覆，鱗翅目昆蟲前後翅都覆蓋鱗粉而形成鱗翅，纓翅目昆蟲前後翅特化成羽毛纓狀的纓翅等(表二)。

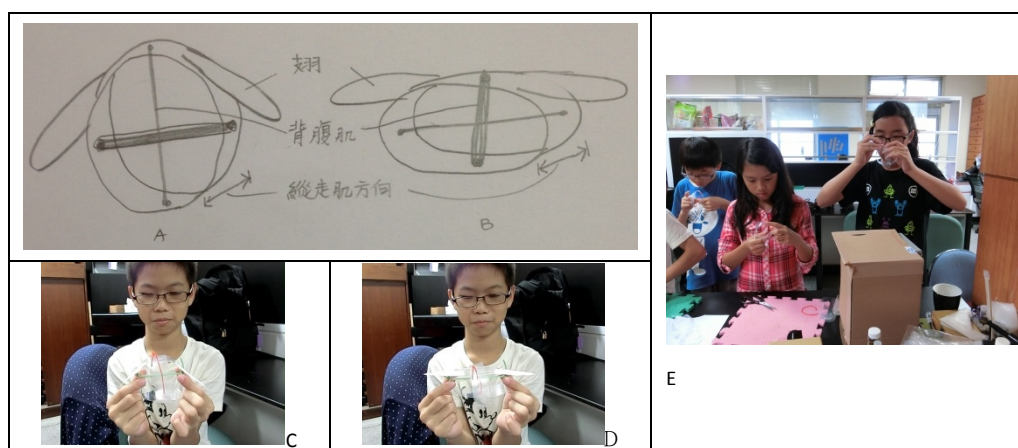
表二 昆蟲翅膀的特化

目名	特化情形	功能	代表種類
鞘翅目	前翅為翅鞘	提供腹部保護	金龜子、獨角仙、甲蟲等
半翅目	前翅基部角質，後半部膜質	不詳	椿象、紅娘華、負子蟲
雙翅目	後翅為平衡棍	飛翔平衡	蚊、蠅、蚋、虻等
直翅目	前翅為翅覆	提供腹部保護	蝗、螞蚱、蟋蟀等
鱗翅目	前後翅皆覆蓋鱗粉	防水	蝶和蛾
纓翅目	前後翅為羽毛狀	不詳	薊馬

### (三)翅的運動

昆蟲翅膀的拍動，主要靠肌肉來帶動，昆蟲飛翔是由兩種肌肉來控制，即間接肌和直接肌；間接肌是指不連接翅基部的肌肉，即背腹肌和縱走肌。而直接肌是指連接至翅基部的肌肉，包括第一前伸張肌、第二前伸張肌、後伸張肌和屈張肌。間接肌可控制翅之上舉下壓，而直接肌控制向前向後、壓翅、引翅和摺合等運動(Gullan and Cranston, 2004)。藉由翅膀的運動，昆蟲可在空中作快速和慢速飛行、定點滯飛、退飛和急速轉向等飛翔行為(How do insects fly, 2013)。飛行速度的比較，家蠅每小時為 8 公里、蜜蜂為 20 公里、胡蜂和蜻蜓為 40 公里、晏蜓和勾蜓最快可達 100 公里(朱耀沂,2010)。

在間接肌的簡單模擬實驗及相關影片中，證實生翅胸骨片會因為背腹肌或縱走肌的伸縮運動，而帶動翅膀的提翅或壓翅(圖二)(dragonfly wings in slow motion, 2013)



圖二 昆蟲間接肌模擬實驗，A.和 C. 胸部左右壓縮，即縱走肌收縮，背腹肌伸張。B.和 D.胸部背腹上下壓縮，即縱走肌伸張，背腹肌收縮。間接肌收縮伸張運動即改變背板形狀及位置，因而帶動翅膀運動。E.間接肌模型製作。

## 三、蜻蜓飛翔行為探討

### (一)拍翅動作

因為想知道蜻蜓拍翅動作，老師就帶我們到戶外觀察蜻蜓飛翔，利用望遠鏡及攝影機觀察及記錄蜻蜓飛翔時拍翅動作。野外觀察時發現蜻蜓拍翅的速度很快，用肉眼根本無法看到拍翅動作，因此我們就回實驗室觀看拍攝影片，發現蜻蜓在飛翔時，三對足都緊縮貼在合胸下方，大家討論結

果是減少空氣阻力。另外，在影片中也發現蜻蜓拍翅時，前後翅大多都不是同步運動，即前後翅並非一起提翅或一起下壓。此外，也發現翅的運動並不是都呈水平的上下運動，有時候翅會呈一傾斜的翅面上下拍動，即翅前緣高於翅後緣(昆蟲飛行,2013; Fascinating dragonfly, 2012)。

針對上述蜻蜓翅膀拍動的行為，王朝網路科學技術有一篇文章討論各種昆蟲的飛行原理，指出蜻蜓振翅模式中，翅上下拍動，翅沿扭轉軸扭轉而攻角快速改變，翅下拍至最低點時，翅快速地向外扭轉，翅上提是最高點時，翅快速地向內扭轉。簡單的上下翅膀拍動是不可能產生有效的升力，所以翅在拍動過程中必須扭轉(各種昆蟲的飛行原理是什麼, 2010)。

## (二)飛翔能力

空中飛龍是形容蜻蜓成蟲，即蜻蜓能在空中能快速靈活飛翔，在進行戶外採集觀察時，發現蜻蜓的飛翔均較其他的昆蟲(如蝶類、甲蟲、蝗蟲)靈活，而不易捕捉，可能原因是蜻蜓具有發達的雙翅，身體流線型，與及發達的複眼，飛翔快速靈活必須要有優異的視力，作出環境的判斷，才有利其飛翔。觀察蜻蜓頭部的一對複眼，佔頭部過半體積，能提供很好視力及視角；蜻蜓翅膀的大小與蟲體比例，不論種類體型大小，發現蜻蜓的翅長都超過體長的一半，如善變蜻蜓體長約 34-42mm 翅長約 26-30mm、杜松蜻蜓體長約 49-53mm 翅長約 35-40mm、猩紅蜻蜓體長約 38-44mm 翅長約 33-37mm、粗腰蜻蜓體長約 25-30mm 翅長約 18-22mm、紫紅蜻蜓體長約 34-39mm 翅長約 26-30mm、大華蜻蜓體長約 49-54mm 翅長約 46-48mm、粗鉤春蜓體長約 66-67mm 翅長約 42-46mm 和麻斑晏蜓體長約 80-87mm 翅長約 50-54mm(曹美華, 2006; 詹見平,2007)。

不同種類蜻蜓，其飛翔行為各有異同，如善變蜻蜓、杜松蜻蜓、猩紅蜻蜓和粗鉤春蜓等，在靜水域池塘多作短距離飛行及定點停息；硃紅蜻蜓和晏蜓等，警覺性較高，飛翔時間較長；而黃紐蜻蜓的飛翔行為最為特別，長時間沿著池邊繞圈飛行。此外，比較不同種類蜻蜓飛翔能力，朱耀沂(2010)指出昆蟲每秘拍翅速度，紋白蝶 10 次、家蠅 100-150 次、蜜蜂 200 次；飛翔時速，蜻蜓為 40km、晏蜓和勾蜓 100km、家蠅 8km、蜜蜂 20km。由此推測拍翅速度與飛翔時速呈正相關，拍翅又與飛肌發達與否呈正相關。此外，據英國廣播公司報導，馬爾代夫生物學家發現，每年有上百萬隻蜻蜓從印度南部，飛行數千公里到達非洲，這是昆蟲遷移最遠的距離，這證明蜻蜓飛翔能力十分優良(人民網科技論壇 2009)。

## (三)特殊飛翔行為

蜻蜓飛翔除提供個體移動外，配合其他行為會表現出特別的飛翔姿勢與動作，如覓食、交配、產卵、護航和競爭驅趕等，戶外觀察曾看到蜻蜓在空中捕捉小型獵物，因動作很快而無法詳細觀察其細節過程，因此觀看相關網路影片，發現蜻蜓是利用足來捕捉獵物，當獵物靠近時，蜻蜓蟲體會以傾斜角度伸出足來抓攬獵物；而且發現當靠近獵物時，翅膀拍動的動作有所改變，似乎是配合抓攬獵物而有短暫滯飛在空中的現象(Dragonfly behavior: prey catching, 2013; Fly eats fly in slow motion, 2011)。蜻蜓交配是雄蟲利用腹末握器握住雌蟲頸區，而後以連結方式飛行，通常雄蟲在前正常拍翅，雌蟲偶而短暫停止拍翅，似乎是要配合雄蟲的飛翔(Darner mating interaction in flight, 2013; Dragonflies flying: a circus in the air, 2011)。蜻蜓雌蟲產卵的方式，會因不同種類而有不同產卵方式，如空中產卵、點水式產卵，插入底質產卵，又或爬入水中產在水生植物上；因此，不同產卵方式其飛翔行為亦不一樣(Dragonfly laying eggs, 2010)。此外，蜻蜓雄蟲常有領域或雌蟲守護行為，而有驅趕其他個體的動作，通常是直接朝競爭者或入侵者方向飛行，用足來驅趕，但其中也有利用拍翅動作來驅趕或防禦。

## 參●結論

具有飛翔能力的動物，如鳥類、蝙蝠和昆蟲，鳥和蝙蝠屬於內骨骼動物，而昆蟲屬於外骨骼動物，飛翔器官的結構與功能各有異同。

- 一、鳥類只有一對翅膀，且骨骼有中空海綿結構及氣囊，肌肉帶動骨骼運動；翅膀上長有羽毛，展翅拍動時，連成一片飛羽所產生阻力就讓鳥類飛翔。蝙蝠是利用翼手來飛翔，一對的翼手皮膜靠薄膜肌肉及修長翼骨配合運動來拍翅飛翔。昆蟲具有 1-2 對翅膀，飛翔翅常呈薄膜狀，靠特定肌肉間接或直接帶動翅膀運動。
- 二、昆蟲翅膀的主要結構是翅脈和翅室，縱脈和橫脈主要是支撐翅膀、彎曲和折疊等；翅室在飛翔時有穩定和平衡作用。許多昆蟲翅膀特化而具飛翔以外功能，如保護功能有甲蟲翅鞘和蜚蠊、蠨蛛、直翅類翅覆、飛翔平衡有蚊蠅類的平衡棍、防水保護有蝶蛾的鱗翅等。
- 三、昆蟲翅膀運動是靠間接肌和直接肌來控制，間接肌是改變胸部形狀而達到翅膀運動，直接肌是直接連接翅膀基部骨片來使翅膀運動。昆蟲飛翔時，前後翅有同步和不同步拍動，同步拍動就必需靠特殊結構將前後翅連結在一起，如翅鈎、翅垂、翅刺等；不同步拍動即前後翅各自提翅或壓翅。
- 四、昆蟲飛翔能力，翅膀拍動越快飛翔越快，拍翅能力與飛翔肌肉為正相關，因此，像蜻蜓的合胸有發達飛翔肌肉，配合良好視力，而表現出各種高難度飛翔姿勢；如交配的連結飛行、產卵垂直上下飛行、空中捕食的疾速急停飛行，

皆說明蜻蜓具有優越飛翔能力。

五、捕捉昆蟲，若我們捕捉的速度比昆蟲拍翅起飛速度為快，那就可以抓到昆蟲，像蜻蜓能靈活快速飛行的個體，若從頭部正面進行捕捉，那我們的舉動都被蜻蜓看得十分清楚，特別是距離；雖然蜻蜓具有發達複眼，但其視力涵蓋範圍為正面和側面，所以從蟲體後方往前捕捉，較能捕獲蜻蜓個體。話雖如此，但蜻蜓頭部能作大範圍靈活轉動，或許就是要彌補視線死角。

#### 肆●引註資料

- 艾登堡 (蔡承志 譯) 2003 鳥類的秘密生活 貓頭鷹出版 台北 328 頁。
- 朱耀沂 2010 數不盡的昆蟲資源-從昆蟲的運動功能談起 科學月刊 482:94-95。
- 芭芭拉 泰勒 (陳順發 譯) 2002 口袋圖書館:鳥類 貓頭鷹出版 台北 176 頁。
- 林良恭、李玲玲、鄭錫奇 2004 臺灣的蝙蝠 國立自然科學博物館 臺中 177 頁。
- 威爾森 (張麗瓊 譯) 2002 蝙蝠 Q&A 大樹文化事業股份有限公司出版 台北 176 頁。
- 貢穀紳 1979 昆蟲學中冊 國立中興大學農學院出版 臺中 763 頁。
- 曹美華 2006 台灣 120 種蜻蜓圖鑑 社團法人台北市野鳥協會出版 台北 128 頁。
- 詹見平 2007 和蜻蜻做朋友 人人出版股份有限公司 台北 119 頁。
- Gullan, P.J. and P.S. Cranston (徐堉峰 譯) 2004 昆蟲學概論 合記圖書出版 台北 476 頁。
- 人民網科技論壇 昆蟲距離最遠的遷徙:蜻蜓從印度跨海飛往非洲 作者:孝文 2009 <http://scitech.people.com.cn/BIG5/9672332.html>
- 各種昆蟲的飛行原理是什麼 作者:不詳 2010 [http://tc.wangchao.net.cn/zhidao/detail\\_3310748.html](http://tc.wangchao.net.cn/zhidao/detail_3310748.html)
- 昆蟲的飛行 作者:郭語喬、陳昱璇、葉德聲 2013 <http://www.shs.edu.tw/works/essay/2013/03/2013032814122503.pdf>
- 海陸空三種最致命的蛇:樹蛇能空中滑行近百米 作者:不詳 2010 <http://share.youthwant.com.tw/Outlink.php?id=65008416&to=http://tech.big5.enorth.com.cn/system/2010/05/10/004671740.shtml>
- 會滑降的動物 奇摩知識 作者:不詳 2012 <https://tw.knowledge.yahoo.com/question/question; ylt=A8tUwYs3qk1U4HQA T9lr1gt.; ylu=X3oDMTEzczRtOXFzBHNIYwNzcgRwb3MDMgRjb2xvA3R3MQR2dG lK1RXQzA4MV8x?qid=1610021700674>
- Animal flight: wing structures and wingbeat mechanisms by Larry Keeley 2014 <https://www.youtube.com/watch?v=LCEkEHI82oA>
- Darner mating interaction in flight by Dragonfly Whisperer 2013



<https://www.youtube.com/watch?v=fOpU7Cn2MV4>

Dragonflies flying – A circus in the air by Warren M Gray 2011

[https://www.youtube.com/watch?v=4pvMegrzs\\_M](https://www.youtube.com/watch?v=4pvMegrzs_M)

Dragonfly laying eggs by molongriff 2010

<https://www.youtube.com/watch?v=a2ghpU896ls>

Dragonfly behavior: prey catching by Georg Ruppell 2013

<https://www.youtube.com/watch?v=ayRkkBwqzEA>

Dragonfly wings in slow motion by SmarterEveryDay 2013

<https://www.youtube.com/watch?v=oxrLYv0QXa4>

Fascinating dragonfly in UltraSlo flight by UltraSlo 2012

<https://www.youtube.com/watch?v=YUfYiQSWJAg>

Fly eats fly in slow motion by The Slow Mo Gys 2011

<https://www.youtube.com/watch?v=dOyc98tV5kA>

How do insects fly by Head Squeeze 2013

<https://www.youtube.com/watch?v=cInwuPmxobM>