

昆蟲翅膀多面睇

投稿類別：自然領域

篇名：昆蟲翅膀多面睇

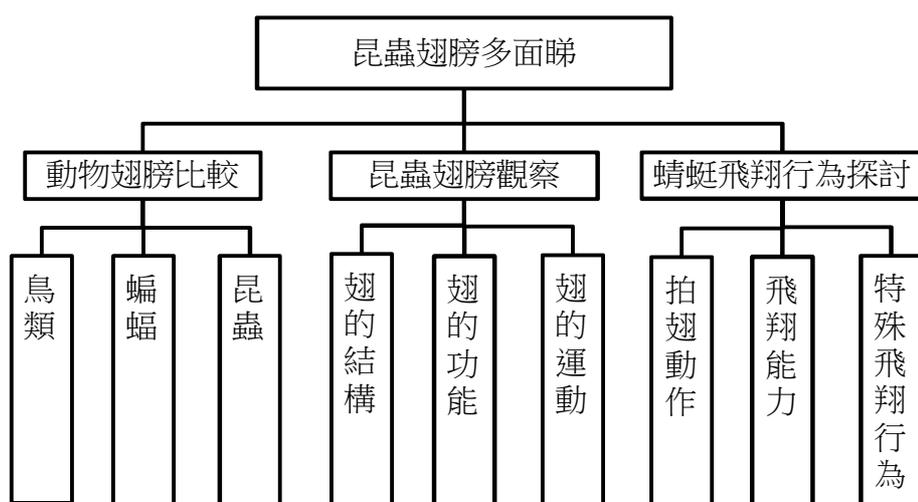
作者：黃昱維 華大附小 六年級
王亭云 華大附小 六年級
黃萱蓁 華大附小 六年級
黃婕瑜 華大附小 六年級

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，也讓氣流滑暢流過個身體(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)。

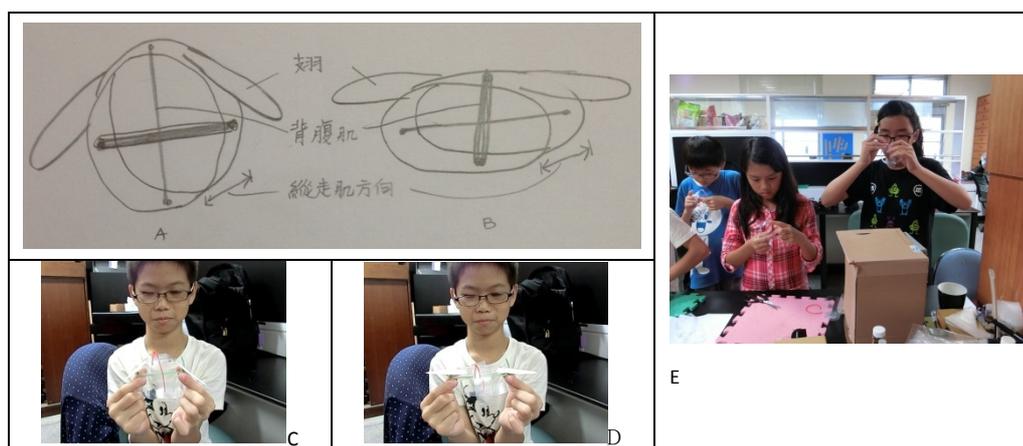
表二 昆蟲翅膀的特化

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、蠓、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
- 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

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>