【中興大學生物力學實驗室研究成果】
2010年國立中興大學生物物理學碩士學位論文

論文題目	翅痣對蜻蜓振翅時翅膀形變之影響
研究生	張家慈 (中興大學生物物理學碩士班)
指導教授	紀凱容 博士 (中興大學物理學系)
摘要	<p>翅痣為昆蟲翅上增厚的特殊構造，通常位於翅前緣接近末端的部分，因其大小、形態、和相對位置具有種間差異，故通常作為分類依據。時值今日，唯一以翅痣為主題，探討其力學功能的研究指出，以蜻蜓為例，翅痣改變了翅的質量分佈，故可能影響翅的振動特性及昆蟲飛行；然而此說仍無直接數據支持並描述影響機制。本研究以台灣常見的薄翅蜻蜓 (<i>Pantala flavescens</i>) 為材料，比較不同振翅條件下，移除翅痣是否改變翅膀在翼展方向上的彎曲程度，以探討翅痣對振動或拍動中蜻蜓翅膀形變的影響。經量測，翅痣的質量佔翅膀的 $8.0 \pm 3.4\%$ ($N = 26$)，估計每單位面積所承載的質量約為翅膀平均值的十倍之多，故此結構將影響翅膀質量的分佈。為比較翅痣是否影響翅膀的振動特性，我首先將取下的翅膀膠著於振盪器上，以固定的頻率和振幅上下振動翅膀，並用高速攝影機以每秒 2000 張影像 (2000 fps) 的速度拍攝翅的振動行為，進而量化其翅膀的彎曲形變量。這部份的數據顯示，移除翅痣後的蜻蜓翅膀在上下振動時，形變量顯著下降了 $14.2 \pm 6\%$ (paired t-test; $p = 0.0389$; $N = 7$)。同時我發現，蜻蜓翅膀前緣的形變具上下不對稱性。然而，當運用同樣的方法來分析活體蜻蜓拍翅時翅膀的彎曲形變量，卻發現翅痣有無並不影響活體蜻蜓振翅時翅膀彎曲的程度 (具有翅痣的蜻蜓翅膀彎曲程度為 13.98 ± 4.58 度，翅痣移除後則為 13.35 ± 4.64 度; $p = 0.0562$; $N = 10$)。但實驗觀察發現，翅痣移除後，蜻蜓振動翅膀的振幅顯著增加 (具有翅痣的蜻蜓拍翅振幅為 33.0 ± 9.38 度，翅痣移除後則為 42.3 ± 9.72 度; $p = 0.0005$; $N = 10$)，而速度則略為增加 (具有翅痣的蜻蜓拍翅速度為 1.55 ± 0.63 m/s，翅痣移除後則為 1.70 ± 0.49 m/s; $p = 0.2864$; $N = 10$)，顯示移除翅痣會改變蜻蜓拍翅的行為。經由分析顯示翅膀彎曲形變隨拍翅振幅增加而增加。為消除拍翅振幅對翅膀形變的影響，我比較拍翅振幅歸一化後的結果，發現翅痣有無顯著影響翅膀彎曲形變 (具有翅痣的蜻蜓歸一化翅膀彎曲程度為 0.26 ± 0.06，翅痣移除後則減少為 0.16 ± 0.04; $p = 0.0006$; $N = 10$)。因此蜻蜓可藉由增加拍翅振幅及速度，使其失去翅痣後仍能維持相同的翅膀形變量。本研究提出實驗數據，來證實翅痣可藉由調控慣性力來增加翅膀的彎曲程度；此外，生物可主動調控自身拍翅振幅與速度，來補償失去翅痣後所可能減少的翅膀形變量。近年的研究指出，翅膀形變有助於提升昆蟲飛行時的升力；因此，翅痣所造成的翅膀彎曲形變，有可能會影響蜻蜓的飛行。</p>