

北台灣細胸珈蟪之翅色多型性

Wing Color Polymorphism of the Damselfly *Mnais tenuis* in Northern Taiwan

林斯正¹ 楊平世² 謝森和^{3,*}

Sue-Cheng Lin¹, Ping-Shih Yang² and Sen-Her Shieh^{3,*}

¹行政院農業委員會特有生物研究保育中心 南投縣集集鎮民生東路1號

²台灣大學昆蟲學系 台北市羅斯福路四段1號

³靜宜大學生態人文學系 台中市沙鹿區中棲路200號

¹Division of Zoology, Endemic Species Research Institute, Nantou, Taiwan

²Department of Entomology, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

³Department of Ecological Humanities, Providence University, Taichung, Taiwan

*通訊作者：shshieh@pu.edu.tw

*Corresponding author: shshieh@pu.edu.tw

摘 要

在台灣已有報告指出細胸珈蟪(*Mnais tenuis*)翅色型為性內多型性，雄蟪具有翅色二型性，雌蟪則有一至三種翅色型的不同看法。因此本研究的目的是以定量的方法，檢視細胸珈蟪翅色性內多型性，以及初羽化期與成熟期的珈蟪在形態上的差異。於2012年3至4月在台灣北部採樣286隻成蟲個體，測量它們的翅翼透明度、翅翼面積與體型大小等三種形態特徵，並以翅翼透明度的分布不連續判斷翅色型。結果顯示雄蟪具有「橙翅型」與「透翅型」二型性，雌蟪僅具有「透翅型」單型性，雌雄總共三種翅型。以變異數分析及 Mann-Whitney U test，分別比較此三種翅型及初羽化期與成熟期在這三種形態特徵上的差異，結果顯示透翅型雄蟪翅翼面積與體型皆顯著小於橙翅型雄蟪與透翅型雌蟪($p < 0.001$)，翅翼透明度則與雌蟪無顯著差異($p > 0.05$)。就這三種翅型而言，成熟期的珈蟪在體型上皆顯著地大於初羽化期的珈蟪($p < 0.001$)。而翅翼透明度與翅翼面積只有在成熟期橙翅型雄蟪與初羽化期橙翅型雄蟪之間有顯著差異($p < 0.001$)。

Abstract

The damselfly *Mnais tenuis* adults in Taiwan are reported to possess intra-sexual polymorphism in wing color. Male adults have two wing-color forms, but female adults have been indicated with doubt to have one to three wing-color forms. Therefore, this study was aimed to quantitatively examine wing-color polymorphisms of *Mnais tenuis* and to determine the differences in morphological features of adults between the teneral stage and mature stage. A total of 286 *Mnais tenuis* adult individuals were collected in northern Taiwan from March to April 2012. The features of these individuals, such as wing transparency, wing area, and body size, were measured, and the discrete distribution of wing-color morphs was examined according to wing transparency. A total of three morphs were identified from the discrete distribution where the males can be classified as the “orange-winged form” or “clear-winged form”, while the females classified as a single “clear-winged form”. Furthermore, the analysis of variance (ANOVA) was used to compare these features among the three morphs, and Mann-Whitney U test between teneral stage and mature stage. The results indicate that the wing area and body size of clear-winged males were significantly lower than those of both orange-winged males and clear-winged females ($p < 0.001$). But there was no significant difference in wing transparency between clear-winged males and females ($p > 0.05$). The mature adults were heavier than teneral adults for all three morphs ($p < 0.001$). However, the significant differences in wing transparency and wing area were found only between mature and teneral orange-winged males ($p < 0.001$).

關鍵詞：細胸珈蟴、翅色、多型性、豆娘、台灣

Key words : *Mnais tenuis*, wing color, polymorphism, damselfly, Taiwan

收件日期：2013年04月18日

接受日期：2013年08月07日

Received: April 18, 2013

Accepted: August 7, 2013

緒 言

多型性(polymorphism)是指同種生物族群同時存在二種或多種不同形態(morph)或類型(form)個體的現象。與一般個體間連續性變異不同，多型性屬於不連續性變異，因此族群個

體可容易區分並歸屬於不同的類型(Mayr and Ashlock 1991)。常見的多型性為性別差異之雌雄二型性(sexual dimorphism)，另在雄性或雌性中也有性內多型性現象(intra-sexual polymorphism)，惟此較為罕見。以蜻蛉目昆蟲體色為例，雌雄一般呈現不同體色或翅色，但

雄性或雌性性內體色多型性則不多見。如台灣產約 150 種蜻蛉目昆蟲，有性內體色多型性報導者僅細胸珈蟥(*Mnais tenuis*)、長痣絲蟥(*Orolestes selysi*)、葦笛細蟥(*Paracercion calamorum dyeri*)、青紋細蟥(*Ischnura senegalensis*)、四斑細蟥(*Mortonagrion hirosei*)、褐翼勾蜓(*Chlorogomphus risi*)、短痣勾蜓(*Chlorogomphus brevistigma*)等 7 種(Lieftinck *et al.* 1984；張及汪 1997；汪 2000；葉等 2006；李及蕭 2008；曹 2011)。

雖然蜻蛉目昆蟲雄性或雌性性內體色多型性並不常見，但因其體型較大可上標操作(marking)，且生殖行為明顯而易於觀察，故常作為自然選汰(natural selection)與性選汰(sexual selection)對動物體色多型性影響的研究題材。特別是屬於蜻蛉目不均翅亞目(Zygoptera)的豆娘(damselfly)，因飛行力較弱且活動範圍較小更適合野外調查與室內飼養。如珈蟥科 *Mnais* 屬豆娘常用於雄性翅色多型性與交配策略(mating strategy)研究(Watanabe and Taguchi 1990；Watanabe 1991；Tsubaki *et al.* 1997；Plaietow and Tsubaki 2000；Tsubaki 2003；Hooper *et al.* 2006)，細蟥科 *Ischnura* 屬豆娘則用於雌性體色多型性研究(Robertson 1985；Cordero 1990；Andrés *et al.* 2000；李及蕭 2008)。體色多型性雖然具有物種遺傳、變異與進化等重要意涵，但當分類研究不足時，種間與種內的體色變異常混淆分類學者判斷，產生分類與鑑定問題。此外，由於成蟲體色會隨發育而改變，在未瞭解成蟲初羽化期(teneral stage)至成熟期(mature stage)的特徵變化，在體色型的界定上也容易產生紊亂。因此，對於蜻蛉目昆蟲體色多型性研究，首要探究體色特徵究竟屬於連續性或不連續性變異，再對不同發育階段進行比較，方能完成體

色型歸類。

本研究之細胸珈蟥(*Mnais tenuis*)屬於溪流性大型豆娘，在台灣分布以北部地區較多，成蟲發生期主要在 3 至 5 月(Lieftinck *et al.* 1984)。除台灣外，尚分布於華中與華東等地區(Lieftinck *et al.* 1984；Hämäläinen 2004；王 2007)。因細胸珈蟥翅色變異明顯，有關本種翅色多型性現象已多有報導。如台灣族群方面，Lieftinck *et al.* (1984)指出雄蟥具有二翅色型；張及汪(1997)與汪(2000)報導雄蟥具有透翅型(clear-winged form)與橙翅型(orange-winged form)，雌蟥具有透翅型、橙翅型與褐翅型(brown-winged form)；曹(2011)報導雄蟥與雌蟥皆有透翅型與橙翅型。Hämäläinen (2004)報導中國福建省產細胸珈蟥雄蟥具有透翅型與橙翅型，雌蟥無翅色分型；王(2007)指出河南省產細胸珈蟥，雄蟥與雌蟥皆具有翅色較淡的烟翅型與翅色較深之黃翅型。綜上所述，前人皆揭示細胸珈蟥雄蟥具有翅色二型性，至於雌蟥翅色則有單型性、二型性與三型性等不同看法。

由於往昔研究主要為翅色型之定性描述，有關定量研究方面仍無相關報導。本研究於北台灣進行較大規模採樣，利用形質測量(morphometrics)分析翅色變異，並以變異的不連續性作為翅色型歸類依據。其次，比較不同翅色型之體型大小，並經由文獻回顧，探討翅色型、體型與生殖策略的關係。有關初羽化期與成熟期個體的形態差異亦一併討論。

材料與方法

一、樣品採集

2012 年 3 至 4 月於台灣北部 7 採樣點進行採樣，包括新北市石門(Shimen)、萬里(Wanli)、

雙溪(Shuangxi)、平溪(Pingxi)、坪林(Pinglin)、宜蘭縣頭城(Toucheng)(圖 1)。野外採到的成蟲樣品，先依蟲體發育狀態區分為初羽化期(teneral stage)與成熟期(mature stage)二生活期。由於初羽化期成蟪體壁與翅翼仍保持柔

軟，與已硬化的成熟期成蟪明顯有別，故可在野外逕行判定(Corbet 1999)。採獲樣品直接放入四角紙袋，攜回實驗室以負 20°C 冷凍保存。採集日期與採樣點地理座標見表 1。

表 1. 採樣點位置與樣品資訊

Table 1. Locations of the sampling sites and sample information

Site	Location	Collection date	Number of specimen (life stage, sex and individual)
Shimen	25.26° N, 121.58° E	2012/03/22, 2012/04/12	12 (mature♂7, teneral♂2, mature♀2, teneral♀1)
Wanli	25.17° N, 121.62° E	2012/03/23, 2012/04/12	99 (mature♂76, teneral♂6, mature♀16, teneral♀1)
Shuangxi	25.08° N, 121.85° E	2012 / 03 / 29	16 (mature♂3, teneral♂3, mature♀5, teneral♀5)
Pingxi	25.03° N, 121.73° E	2012 / 04 / 11	49 (mature♂42, teneral♂0, mature♀7, teneral♀0)
Pinglin	24.94° N, 121.68° E	2012 / 03 / 28	72 (mature♂38, teneral♂11, mature♀11, teneral♀12)
Toucheng	24.94° N, 121.87° E	2012 / 03 / 29	38 (mature♂31, teneral♂3, mature♀4, teneral♀0)

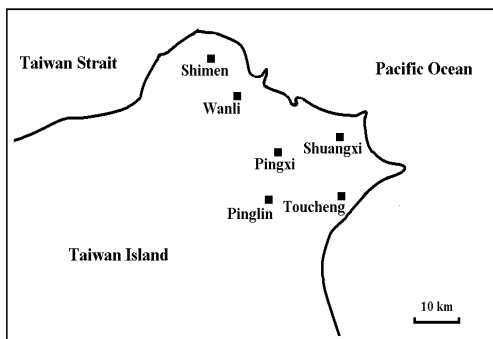


圖 1. 台灣北部細胸珈蟪採樣點位置圖。

Fig. 1. The sampling sites of *Mnais tenuis* in northern Taiwan.

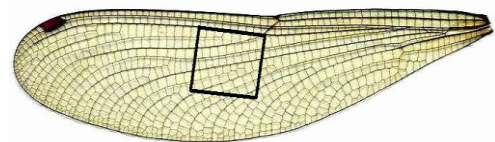


圖 2. 左前翅翅翼相對透明度測量部位(黑色方框)。

Fig. 2. Detecting area of left forewing for relative transparency (open square).

二、形質測量

(一) 左前翅翅翼相對透明度(relative transparency)

將樣品左前翅剪下，測量左前翅亞翅結(subnode)下方翅中央處一 5mm×5mm 正方形偵測面積之透明度(圖 2)。測量方法是利用顯

微鏡用 Volpi Intralux® 5000-1 光源，經濾鏡過濾光線成為 5000°K 標準色溫後，下接 Tes-1330 數位式照度計測量光強度。測量有置入翅翼的光強度(I_w)及無置入翅翼的光強度(I)，計算二者比值(I_w/I %)，得出翅翼相對透明度。

(二) 左前翅翅翼面積(wing area)

左前翅翅翼面積測量是以 Epson Stylus Photo RX630 掃描器掃描翅翼影像，並利用 Tsview 6.0 影像處理軟體計算翅翼面積。

(三) 體乾重(dry weight)

由於部份蟲體足部與翅翼脫落破損，故統一剪除樣品之前、中、後足與前、後翅。利用 Honsor FD 8080 冷凍乾燥機將樣品水份昇華乾燥，再以 Sartoris BP 121S 電子秤稱得體乾重。

三、資料分析

(一) 成熟期雄、雌蠅之翅色型歸類方式

利用翅翼相對透明度分布直方圖(histogram)呈現成熟期雄蠅(mature male adults)與成熟期雌蠅(mature female adults)的翅翼透明度變異。由分布狀態的不連續性，以及前人翅色型描述(Lieftinck *et al.* 1984；張及汪 1997；汪 2000；Hämäläinen 2004；王 2007；曹 2011)，研判翅色型類別。

(二) 成熟期雄、雌蠅各翅色型的形質比較

以單因子變異數分析(analysis of variance, ANOVA)檢定成熟期雄、雌蠅各翅色型在翅翼相對透明度、翅翼面積與體乾重間的差異，若分析結果達到 5%顯著水準，再以最小顯著差異測驗(least significant difference test, LSD)進行成對比較。使用統計軟體為 SPSS 13.0。

(三) 初羽化期與成熟期的形質比較

由於初羽化期的樣品數較少，因此利用無母數統計法之曼-惠特尼 U 測驗(Mann-Whitney U test)檢定初羽化期與成熟期個體在翅翼相對透明度、翅翼面積與體乾重間的差異。使用統計軟體為 SPSS 13.0。

結果與討論

一、樣品採集

研究期間於北台灣 7 採樣點共採集細胸珈蠅成蟲 286 隻，其中包括成熟期雄蠅 197 隻，初羽化期雄蠅 25 隻，成熟期雌蠅 45 隻，初羽化期雌蠅 19 隻。各採樣點調查隻數與樣品資訊見表 1。

二、成熟期雄、雌蠅之翅色型歸類

圖 3 為成熟期雄、雌蠅翅翼相對透明度之分布直方圖。雄蠅具有二個且不連續分布峰，第一分布峰包含 144 隻個體並分布在相對透明度 34-56%間，高峰位於 40-42%間；第二分布峰包含 53 隻個體並分布在 76-92%間，高峰位於 82-84%間。雌蠅僅一分布峰且與雄蠅第二分布峰重疊，45 隻雌蠅個體分布在 76-86%間，高峰位於 82-84%間。利用多型性屬於不連續性變異之歸類依據(Mayr and Ashlock 1991)，本研究揭示雄蠅具有二型性，雌蠅僅單型性。參考前人翅色型描述(張及汪 1997；汪 2000；曹 2011)，本研究將從屬於第一分布峰，翅翼透明度低至中等(34-56%)的雄蠅翅色型歸類為「橙翅型」；從屬於第二分布峰，翅翼透明度高(76-92%)的雄蠅歸類為「透翅型」。雌蠅雖為單型性，但因其翅翼透明度(76-86%)與透翅型雄蠅非常接近，故亦歸類為「透翅型」。

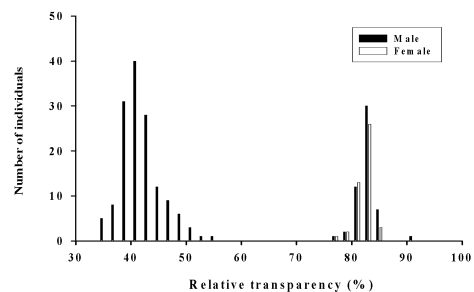


圖 3. 成熟期雄、雌蠅翅翼相對透明度之直方圖。
Fig. 3. The histogram of relative transparency for mature male and female wings.

蜻蛉目昆蟲翅翼由翅痣(pterostigma)、翅脈(wing vein)以及由翅脈所包圍的翅室(wing cell)所組成。由於翅痣、翅脈與翅室皆具有顏色，在界定翅色型時需注意三者區別。翅痣顏色因與雌雄交配行為的通訊有關，前人描述多指明翅痣顏色而不會與翅色相混淆。如細胸珈蟪雄蟪翅痣顏色由初羽化期的白色隨發育成熟轉呈橙紅色，雌蟪則皆維持為白色(Oguma 1913; 張及汪 1997; 汪 2000; 王 2007; 曹 2011)。相反地，翅脈與翅室相互交織鑲嵌，如不指明，二者顏色容易混為一談。特別是橙紅色至黑褐色翅脈(Oguma 1913; 王 2007)，在翅室為透明翅色時，翅脈顏色可能影響翅色判斷。過去有關細胸珈蟪雌蟪翅色多型性報導(張及汪 1997; 汪 2000; 王 2007; 曹 2011)，可能是綜合翅脈與翅室二者顏色結果。本研究翅翼透明度偵測部位，經 Tsview 6.0 影像處理軟體對 6 隻個體補充測量結果，翅室佔總偵測面積 $91.1 \pm 1.1\%$ ，翅脈僅佔 $8.9 \pm 1.1\%$ ，故本研究翅色型歸類主要依據翅室特徵。

屬於不連續性變異的多型性現象，遺傳機制常為簡單的單基因孟德爾遺傳(Mendelian inheritance) (Mayr and Ashlock 1991)。如 Tsubaki (2003)報導產於日本且翅色型亦為雄蟪橙翅型、透翅型二型性，雌蟪透翅型單型性之 *Mnais costalis* 珈蟪，其翅色遺傳機制可用一基因座(locus)二對偶基因(allele)，橙色基因為顯性並限於雄性表現加以解釋。由於細胸珈蟪與 *Mnais costalis* 珈蟪具有相同翅色型類別，可能亦具此遺傳性質。

三、成熟期雄、雌蟪各翅色型的形質比較

表 2 上方部分為成熟期橙翅型雄蟪、透翅型雄蟪與透翅型雌蟪之翅翼相對透明度、翅翼面積與體乾重。就翅翼相對透明度而言，橙翅

型雄蟪為 $41.9 \pm 3.6\%$ ，透翅型雄蟪為 $82.7 \pm 1.9\%$ ，透翅型雌蟪為 $82.1 \pm 1.5\%$ 。經單因子變異數分析(one-way ANOVA)結果，翅翼相對透明度上達到顯著差異($F=5362.5$, $p<0.001$)。最小顯著差異測驗(LSD)成對比較結果，橙翅型雄蟪與透翅型雄蟪間($P<0.001$)，或橙翅型雄蟪與透翅型雌蟪間($P<0.001$)，皆有非常顯著差異；同屬透翅型的雄蟪與雌蟪間($p=0.336$)則無顯著差異(表 3)。換言之，在翅翼透明度上，較不透明的橙翅型雄蟪確可自成一類，翅翼透明的透翅型雄、雌蟪歸類在同一型亦屬合理。

在翅翼面積上，透翅型雄蟪具較小翅翼面積($2.41 \pm 0.16 \text{cm}^2$)，橙翅型雄蟪($2.72 \pm 0.16 \text{cm}^2$)與透翅型雌蟪($2.76 \pm 0.18 \text{cm}^2$)皆較大(表 2 上方部分)。經單因子變異數分析結果，翅翼相對透明度上達到顯著差異($F=81.5$, $p<0.001$)。最小顯著差異測驗成對比較結果，透翅型雄蟪無論與橙翅型雄蟪相比($p<0.001$)或與透翅型雌蟪相比($p<0.001$)，在翅翼面積上皆有非常顯著差異；橙翅型雄蟪與透翅型雌蟪間($p=0.165$)則無顯著差異(表 3)。在體乾重上，透翅型雄蟪較低($34.0 \pm 5.8 \text{mg}$)，橙翅型雄蟪($49.8 \pm 7.4 \text{mg}$)與透翅型雌蟪($51.2 \pm 11.6 \text{mg}$)皆較高(表 2 上方部分)。經單因子變異數分析結果，體乾重也達到顯著差異($F=83.1$, $p<0.001$)。最小顯著差異測驗成對比較結果，透翅型雄蟪無論與橙翅型雄蟪相比($p<0.001$)或與透翅型雌蟪相比($p<0.001$)，在體乾重上皆有非常顯著差異；橙翅型雄蟪與透翅型雌蟪間($p=0.313$)則無顯著差異(表 3)。因此，透翅型雄蟪體型較小，橙翅型雄蟪與透翅型雌蟪體型皆較大。

細胸珈蟪透翅型雄蟪體型較小，橙翅型雄蟪體型較大現象，也見於其他種類的 *Mnais* 屬珈蟪。前人研究指出體型大的橙翅型雄蟪屬於領域性(territorial)生殖策略(mating strategy)，即

佔有領域並驅逐入侵領域的橙翅型雄蟴與透翅型雄蟴(Watanabe and Taguchi 1990; Watanabe 1991; Tsubaki *et al.* 1997)。由於捍衛領域的橙翅型雄蟴在體型發育上比透翅型雄蟴付出更多代價(Plastow and Tsubaki 2000)，因此橙色翅色被認為是提示此策略的誠實信號(honest signal)(Hooper *et al.* 2006)。反之，體型小的透翅型雄蟴屬於無領域性(non-territorial)生殖策略，即不佔有領域並棲息於橙翅型雄蟴領域週邊，伺機攫取雌蟴進行交配，為偷襲者(sneaker)交配方式(Watanabe and Taguchi 1990; Watanabe 1991; Tsubaki *et al.* 1997)。

由於*Mnais*屬珈蟴族群一般兼具橙翅型與透翅型雄蟴，顯示兩種翅色型與其代表的領域性與無領域性生殖策略各有其適應性(Watanabe and Taguchi 1990; Tsubaki *et al.* 1997)。本研究各採樣點亦皆採獲細胸珈蟴橙翅型與透翅型雄蟴，數量分別為石門：1與8隻；萬里：71與12隻；雙溪：3與3隻；平溪：28與14隻；坪林：27與22隻；頭城：29與6隻(樣品數包括初羽化期與成熟期個體)。惟各採樣點的雄蟴翅色型比例差異頗大，橙翅型在11%至86%間，透翅型在14%至89%間。由於各採樣點僅有1至2次調查，資料較為粗糙，差異原因仍待後續探究。

表 2. 初羽化期與成熟期的橙翅型雄蟴、透翅型雄蟴與透翅型雌蟴之翅翼相對透明度、翅翼面積與體乾重(n=樣品數；平均值±標準偏差)

Table 2. Wing relative transparency, wing area, and dry weight of the orange-winged male, clear-winged male, and clear-winged female in teneral and mature stages (n=sample size, mean±standard deviation)

Stage	Wing-color form and sex	n	Transparency (%)	Wing area (cm ²)	Dry weight (mg)
Mature	Orange-winged male	144	41.9 ± 3.6	2.72 ± 0.16	49.8 ± 7.4
	Clear-winged male	53	82.7 ± 1.9	2.41 ± 0.16	34.0 ± 5.8
	Clear-winged female	45	82.1 ± 1.5	2.76 ± 0.18	51.2 ± 11.6
Teneral	Orange-winged male	13	62.6 ± 4.2	2.61 ± 0.20	20.2 ± 4.8
	Clear-winged male	12	82.6 ± 1.1	2.32 ± 0.15	17.1 ± 4.8
	Clear-winged female	19	81.4 ± 2.3	2.68 ± 0.20	19.4 ± 6.1

表 3. 最小顯著差異測驗成對比較翅翼相對透明度、翅翼面積與體乾重之差異(平均差與 p 值)

Table 3. Pair-wise comparisons for wing relative transparency, wing area, and dry weight based on least significant difference (LSD) test (mean difference with p-value)

Pair-wise comparison	Transparency	Wing area	Dry weight
Mature orange-winged male versus mature clear-winged male	-40.8 (p<0.001)	31.1 (p<0.001)	15.8 (p<0.001)
Mature orange-winged male versus mature clear-winged female	-40.2 (p<0.001)	-3.9 (p=0.165)	-1.4 (p=0.313)
Mature clear-winged male versus mature clear-winged female	0.6 (p=0.336)	-35.3 (p<0.001)	-17.2 (p<0.001)

四、初羽化期與成熟期的形質比較

表 2 為橙翅型雄蟥、透翅型雄蟥與透翅型雌蟥在成熟期(表 2 上方部分)與初羽化期(表 2 下方部分)的左前翅翼相對透明度、左前翅翼面積與體乾重。就翅翼透明度而言，橙翅型初羽化期雄蟥為 $62.6 \pm 4.2\%$ ，橙翅型成熟期雄蟥為 $41.9 \pm 3.6\%$ ，經 Mann-Whitney U test，二者具有非常顯著差異($p < 0.001$) (表 4)，即橙翅型雄蟥翅色隨成蟥發育由淺變深(圖 4. A, D)。相反地，在透翅型初羽化期雄蟥($82.6 \pm 1.1\%$)與成熟期雄蟥($82.7 \pm 1.9\%$)間($p = 0.732$)，以及透翅型初羽化期雌蟥 ($81.4 \pm 2.3\%$) 與成熟期雌蟥 ($82.1 \pm 1.5\%$)間($p = 0.314$)，翅翼透明度皆無顯著差異(表 4)，即二生活期之翅色皆呈現較透明狀態(圖 4. B, E; C, F)。Hooper *et al.* (1999)利用同位素追蹤 *Mnais costalis* 珈蟥翅色發育，發現橙翅型雄蟥翅室具有色素前驅物(precursor)的堆積，但透翅型雄蟥則無。因此，細胸珈蟥橙翅型雄蟥翅色發育變深應與色素堆積表現有關，反之，透翅型個體在羽化期與成熟期皆無此表現而同呈透明翅色。

在翅翼面積上，橙翅型初羽化期雄蟥 ($2.61 \pm 0.20 \text{cm}^2$)與橙翅型成熟期雄蟥($2.72 \pm 0.16 \text{cm}^2$)間具有顯著差異($p = 0.038$) (表 4)。但在透翅型初羽化期雄蟥($2.32 \pm 0.15 \text{cm}^2$)與透翅型成熟期雄蟥($2.41 \pm 0.16 \text{cm}^2$)間($p = 0.140$)，以及透

翅型初羽化期雌蟥($2.68 \pm 0.20 \text{cm}^2$)與透翅型成熟期雌蟥($2.76 \pm 0.18 \text{cm}^2$)間($p = 0.183$)皆無顯著差異(表 4)。換言之，雖然成熟期的翅翼面積皆較初羽化期為大，但在統計上僅橙翅型雄蟥具有顯著差異。Matsubara *et al.* (2005)報導 *Calopteryx atrata* 珈蟥雄蟥，在不同年齡階段(age class)，翅翼面積並無顯著差異($p = 0.1980$)。本研究中，透翅型雄蟥與透翅型雌蟥翅翼面積無明顯變化與 Matsubara *et al.* (2005)報導一致，但橙翅型雄蟥成熟期卻較初羽化期顯著較大，此差異是否與初羽化期的翅翼伸展程度有關，尚待進一步探討。

在體乾重上，橙翅型初羽化期雄蟥 ($20.2 \pm 4.8 \text{mg}$)與橙翅型成熟期雄蟥($49.8 \pm 7.4 \text{mg}$)間($p < 0.001$)，透翅型初羽化期雄蟥 ($17.1 \pm 4.8 \text{mg}$)與透翅型成熟期雄蟥($34.0 \pm 5.8 \text{mg}$)間($p < 0.001$)，以及透翅型初羽化期雌蟥 ($19.4 \pm 6.1 \text{mg}$)與透翅型成熟期雌蟥($51.2 \pm 11.6 \text{mg}$)間($p < 0.001$)，皆有非常顯著差異(表 4)。簡言之，成熟期的橙翅型雄蟥、透翅型雄蟥與透翅型雌蟥明顯較重，並約為初羽化期的 2.5、2.0 與 2.6 倍重。與幾丁質硬化後無法成長的翅翼不同，珈蟥體內的肌肉、脂肪、臟器等，在體壁硬化後，仍能進行發育而呈現體重增加現象(Plaistow and Tsubaki 2000；Matsubara *et al.* 2005)。

表 4. 曼-惠特尼 U 測驗成對比較翅翼相對透明度、翅翼面積與體乾重之差異(U 值與 p 值)

Table 4. Pair-wise comparisons for wing relative transparency, wing area, and dry weight based on Mann-Whitney U test (U score with p value)

Pair-wise comparison	Transparency	Wing area	Dry weight
Mature orange-winged male versus teneral orange-winged male	4 ($p < 0.001$)	611 ($p = 0.038$)	4 ($p < 0.001$)
Mature clear-winged male versus teneral clear-winged male	297 ($p = 0.732$)	230 ($p = 0.140$)	12 ($p < 0.001$)
Mature clear-winged female versus teneral clear-winged female	358 ($p = 0.314$)	336 ($p = 0.183$)	9.5 ($p < 0.001$)

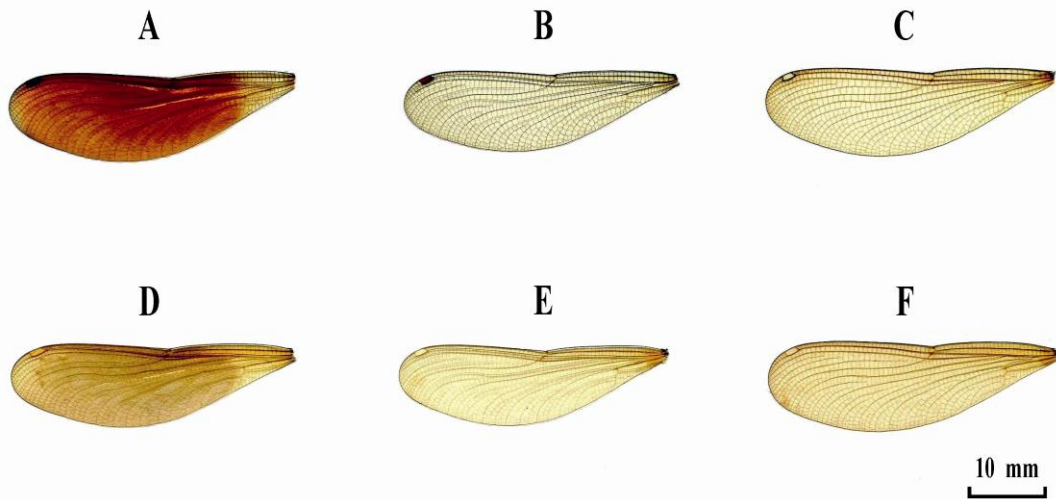


圖 4. 細胸珈蟪左前翅翼：A 成熟期橙翅型雄蟪；B 成熟期透翅型雄蟪；C 成熟期透翅型雌蟪；D 初羽化期橙翅型雄蟪；E 初羽化期透翅型雄蟪；F 初羽化期透翅型雌蟪。

Fig. 4. Left forewing of *Mnais tenuis*. A: mature orange-winged male; B: mature clear-winged male; C: mature clear-winged female; D: teneral orange-winged male; E: teneral clear-winged male; F: teneral clear-winged female.

比較特別的是透翅型雄蟪增重比例(2.0 倍)與橙翅型雄蟪(2.5 倍)或與透翅型雌蟪(2.6 倍)有較大差別。經 Mann-Whitney U test 後續分析結果，在體乾重上，透翅型初羽化期雄蟪與橙翅型初羽化期雄蟪間($p=0.137$)，以及透翅型初羽化期雄蟪與透翅型初羽化期雌蟪間($p=0.367$)皆無顯著差異，即初羽化期的透翅型雄蟪的體乾重與另二者接近。但在成熟期體乾重上，透翅型雄蟪與橙翅型雄蟪間($p<0.001$)，以及透翅型雄蟪與透翅型雌蟪間($p<0.001$)卻皆有非常顯著差異(表 3)，也就是成熟期的透翅型雄蟪體乾重與另二者明顯差異。換句話說，透翅型雄蟪體重的增加明顯少於另二者。相反地，橙翅型雄蟪與透翅型雌蟪，無論是在初羽化期的體乾重比較(Mann-Whitney U test 後續分析 $p=0.495$)或是在成熟期的體乾重比較($p=0.313$)

(表 3)皆無顯著差異，即橙翅型雄蟪體重增長狀態近似透翅型雌蟪。Anholt *et al.* (1991)指出無領域行為的蜻蛉目雄蟲，無需花費較多能量在肌肉合成與捍衛領域上，因此體重低於雌蟲，但有領域性的雄蟲則與雌蟲體重接近。本研究中，透翅型雄蟪增重較少，橙翅型雄蟪增重近似雌蟪，配合 Anholt *et al.* (1991)歸納結果，以透翅型與橙翅型的翅色遞移代表雄蟪無領域性與有領域性之生殖策略似屬合理，然因領域行為屬於動物行為學研究範疇，故仍需野外行為研究確認之。

引用文獻

王治國。2007。河南蜻蜓志蜻蛉目。河南科學技術出版社。

- 汪良仲。2000。台灣的蜻蛉。人人月曆股份有限公司。
- 李長春、蕭文鳳。2008。青紋細蟴 *Ischnura senegalensis*(蜻蛉目：細蟴科)交配行為初步研究。臺灣昆蟲 28(1): 57-65。
- 張永仁、汪良仲。1997。蜻蜓篇。內政部營建署陽明山國家公園管理處。
- 曹美華。2011。台灣 120 種蜻蜓圖鑑。財團法人台北市野鳥學會。
- 葉文琪、林秀麗、曹美華。2006。四斑細蟴現身五股濕地。自然保育季刊 53: 70-72。
- Andrés, J. A., R. A. Sánchez-Guillén and A. Cordero Rivera. 2000. Molecular evidence for selection on female colour polymorphism in the damselfly *Ischnura graellsii*. *Evolution* 54(6): 2156-2161.
- Anholt, B. R., J. H. Marden and D. M. Jenkins. 1991. Patterns of mass gain in adult dragonflies (Insecta: Odonata). *Canadian Journal of Zoology* 69(5): 1156-1163.
- Corbet, P. S. 1999. *Dragonflies: Behaviour and Ecology of Odonata*. Harley Books, Colchester.
- Cordero, A. 1990. The inheritance of female polymorphism in the damselfly *Ischnura graellsii* (Rambur) (Odonata: Coenagrionidae). *Heredity* 64: 341-346.
- Hämäläinen, M. 2004. Caloptera damselflies from Fujian (China), with description of a new species and taxonomic notes (Zygoptera: Calopterygoidea). *Odonatologica* 33(4): 371-398.
- Hooper, R. E., Y. Tsubaki and M. T. Siva-Jothy. 1999. Expression of a costly, plastic secondary sexual trait is correlated with age and condition in a damselfly with two male morphs. *Physiological Entomology* 24(4): 364-369.
- Hooper, R. E., S. J. Plaistow and Y. Tsubaki. 2006. Signal function of wing colour in a polymorphic damselfly, *Mnais costalis*. *Odonatologica* 35(1): 15-22.
- Lieftinck, M. A., J.-C. Lien and T.-C. Maa. 1984. Catalogue of Taiwanese dragonflies (Insecta: Odonata). Asian Ecological Society, Taichung.
- Matsubara, K., S. Tojo and N. Suzuki. 2005. Age-related changes in flight muscle mass, lipid reserves and flight capacity during adult maturation in males of the territorial damselfly *Calopteryx atrata* (Odonata: Calopterygidae). *Zoological Science* 22(5): 587-592.
- Mayr, E. and P. D. Ashlock. 1991. *Principles of systematic zoology*. McGraw-Hill, New York.
- Oguma, K. 1913. Japanese dragonflies of the family Calopterygidae with the descriptions of three new species and one new subspecies. *Journal of the College of Agriculture, Hokkaido Imperial University* 5: 149-163.
- Plaistow, S. J. and Y. Tsubaki. 2000. A selective trade-off for territoriality and non-territoriality in the polymorphic damselfly *Mnais costalis*. *Proceedings of Royal Society of London Series B-Biological Science* 267(1447): 969-975.
- Robertson, H. M. 1985. Female dimorphism and mating behaviour in a damselfly, *Ischnura ramburi*: females mimicking males. *Animal*

Behaviour 33(3): 805-809.

Tsubaki, Y. 2003. The genetic polymorphism linked to mate securing strategies in the damselfly *Mnais costalis* Selys (Odonata: Calopterygidae). Population Ecology 45(3): 263-266.

Tsubaki, Y., R. E. Hooper and M. T. Siva-Jothy. 1997. Differences in adult and reproductive lifespan in the two male forms of *Mnais pruinosa costalis* (Odonata: Calopterygidae). Researches on Population Ecology 39(2): 149-155.

Watanabe, M. 1991. Thermoregulation and habitat preference in two wing color forms of *Mnais* damselflies (Odonata: Calopterygidae). Zoological Science 8(5): 983-989.

Watanabe, M. and M. Taguchi. 1990. Mating tactics and male wing dimorphism in the damselfly, *Mnais pruinosa costalis* Selys (Odonata: Calopterygidae). Journal of Ethology 8(2): 129-137.

