

臺灣二〇〇六年國際科學展覽會

科 別：動物學

作品名稱：蝴蝶眼斑的探討

學校 / 作者：國立臺灣師範大學附屬高級中學 呂佳舫
國立臺灣師範大學附屬高級中學 郭宇軒

目 錄

作者簡介及照片.....	I~II
中文摘要.....	p. 1
英文摘要.....	p. 1- 2
壹、引言.....	p. 2
貳、研究目的.....	p. 2
參、材料與方法.....	p. 3- 4
肆、結果.....	p. 4- 5
伍、討論.....	p. 5- 7
陸、結論.....	p. 7-8
柒、參考文獻.....	p. 8
表及圖.....	p. 9- 16
附錄一.....	p. 17- 18
圖版.....	p. 19- 25

作者簡介及照片



我是呂佳舫，曾就學於師大附幼、仁愛國小、師大附中國中部，目前就讀於師大附中高中部數理資優班，平時喜歡打排球、游泳、看電影及閱讀科學雜誌。從小就喜歡觀察身邊的各種事物，對大自然充滿著好奇，也喜歡追究原因，雖生活在都市裡，但從不放棄任何可學習探討的機會。從研究過程中，獲得許多不同的經驗及書本上所沒有的知識。在準備這次的科展過程中，就投入非常多的耐心及時間在找尋相關文獻，尤其在網路上搜尋，獲得非常難忘和珍貴的經驗。

作者簡介及照片



我的名字叫郭宇軒，今年十八歲，是個高三生。外向、開朗，還有點傻大姐的個性，常常讓周圍充滿了笑聲。我的嗜好是欣賞各種類型的音樂，以及最近正在進行的閱讀計劃〈讀完中外經典文學〉。我父親很喜歡養動物，我幾乎是從小就跟各種動物一起長大的，因此我很喜歡動物。小時候總吵著要去動物園玩，現在則喜歡閱讀一些與動物有關的書籍。

蝴蝶眼斑的探討

The Study on Butterfly Eyespots

摘要

在眾多的蝴蝶中有不少是具有眼斑。傳統上認為眼斑的功能是驚嚇天敵或欺騙天敵。有關眼斑本身結構的瞭解很少。我們利用臺灣及馬祖產的蝴蝶，分別記錄圖鑑上蛺蝶、眼蝶及灰蝶合計 60 種以上，以及鳳蝶幼蟲七種的眼斑特性。記錄的眼斑特性包括數目、組成的色彩結構，以及記錄眼斑在翅的腹面或背面明顯。進一步測量孔雀蛺蝶、台灣波眼蝶、蘇鐵小灰蝶等三種蝴蝶的眼斑和翅面積。眼斑在腹面及背面都有，但以腹面明顯者佔多數，而眼斑數 1-7 個都有，在後翅者佔多數。眼斑基本是由數個同心圓組成，分別為輪廓、眼白、虹彩及瞳孔。在蛺蝶及眼蝶的結構都相當完整，輪廓為褐或深褐，眼白為黃色為主，虹彩都為黑色或深褐色，瞳孔為白色或淡藍色。在灰蝶的眼斑較不完整，大都輪廓不清晰，眼白的黃色或橙色部份比例高，但都缺少瞳孔。幼蟲有眼斑成蟲不一定有。鳳蝶的幼蟲(8 種)都為綠色，其眼斑輪廓黑色，眼白為白色及紅色但明顯比上述成蟲的眼斑之眼白部位要小，而黑色的虹彩都很大。幼蟲的瞳孔為白色的細線形，我們認為這和立體形狀的幼蟲及成蟲平面翅的差異所造成，在文中也討論到水棲蝶魚的眼斑和蝴蝶眼斑的差異。眼斑和翅面積的相關分析結果變異很大，在統計上正相關及負相關都有。眼斑數目的不定及和翅面積並沒有一定關係，我們討論到蝴蝶的眼斑在不同種類有些可能有求偶生殖上的功能。這方面值得科學家大量投入研究。

Abstract

Quite a few species of butterflies have colorful eyespots on their wings. The main functions of these eyespots were considered to startle or deceive predators by most scientific researchers. In fact, only limited literatures dealt with the basic structure and color patterns of butterfly eyespots. The purpose of this study is to study the basic structure and color patterns of these eyespots. We measured the surface area of eyespots v.s. wings from specimens. From the color plates of Taiwan and Matsuo butterfly field guide, we recorded the eyespots either on ventral or dorsal side of wings, and the color patterns for more than 60 species.

The number of eyespots on wings varies from 1 to 7 among individuals we checked. Majority of eyespots were found on ventral side of wings. The basic structure of eyespots were formed by 1 to 3 concentric circles, i.e., outboundary, cornea, iris and pupil. Pupil was not found in certain species. The color in cornea section is yellow and in iris is black or dark brown. The contrast in these two areas is quite prominent just as the contrast showed in warning coloration of after animals. The pupil is either white or light blue. Caterpillars with eyespots were found in Papilionidae, their adult stage were without this character. We checked 8 species of caterpillars, their basic structure of eyespots were similar to other butterflies, with cornea, iris and pupil. The cornea is either red or white color, and the iris is black in

color. The ratio(iris/cornea) is much higher in caterpillar than in butterfly. The pupil is a thin thread shape instead of a tiny spot like the one in butterfly wings. We discussed the difference of pupil between juveniles and adults from the aspect of dimension structure of a subject. In the paper we also discussed the difference of eyespots between butterfly and butterfly fish in the coral reef. Based on the no significant relationship between the surface area of eyespots and wings. We suspect that butterfly eyespots may have another function, such as intersexual selection between males and females beside startling and deceiving predators.

壹、引言

在大自然中，很多看起來雜亂無章的事情其實都有固定的規律。仔細觀察各種生命現象後，往往有一定的軌跡可循，像是菊石的螺旋就有著固定比例，同樣地，動物身上的色彩及花紋在不同的物種中往往有相同的模式。

雖然大部分的人都不喜歡毛毛蟲，但是牠的成蟲－蝴蝶卻是沒有人不喜愛。蝴蝶會受人喜愛，最主要的原因就是牠們有美麗的色彩和花紋，這些美麗構圖及多樣化的色彩，可以使蝴蝶在萬花叢中不被發現(保護色或擬態)或是用來警戒敵人。(Cowen, 1980)

這些形形色色的蝴蝶，其中有些種類在翅膀上有眼睛形狀的斑紋，通常這種斑紋稱為”眼紋”或”眼斑”。具有這個特徵的種類非常多，在許多不同科的蝴蝶中都可見到。蝶類有七個科，分別是鳳蝶、粉蝶、蛺蝶、喙蝶、蛻蝶、灰蝶及弄蝶科，在資料中，我們發現蛺蝶科和灰蝶科中某些種類具有眼斑紋。但是種類數量最多且眼斑特別明顯的是蛺蝶科(眼蝶類、蛺蝶類及環蝶類)和灰蝶科。

傳統上大部份的科學家都認為”眼斑”的功用就是來驚嚇天敵，然似乎是人云亦云，一直都沒有科學實驗的證明。直到最近 Ruxton (2005)才以精巧的實驗設計證明這點。報告中更進一步指出有些蝴蝶會同時配合發出聲音來恫嚇天敵呢！另外則是有科學家從發育遺傳學的角度來探討眼斑形成的機制，如 Beldade & M Brakefield (2003)和 Milius (2005)等。

貳、研究目的

雖然研究蝴蝶的學者在很早以前就以眼斑的有無及數量來做為分類的依據(李俊延, 2000; 李俊延及王效岳 1999; 李俊延及王效岳, 2002)，然而有關眼斑本身的一些基本資料卻一直缺乏，例如眼斑出現的位置是否有規則性？翅膀的背、腹面那一面較明顯？眼斑之大小、數量和翅膀的面積有沒有一定的關係？眼斑的結構又如何？有多少顏色來組成眼斑？各結構的顏色是否有特定的關係？眼斑和蝴蝶的習性又有什麼關係？幼蟲的眼斑和成蟲的眼斑是否一樣？以上這些問題就是本研究主要探討的主題。

參、材料與方法

一、材料

以圖鑑上的蝴蝶照片為材料，圖鑑資料以李及王(2002)及李(2000)二本書上所拍攝的圖片為主，檢視的種類列於附錄一。

二、眼斑的觀察及測量

- 1.眼斑位置：眼斑出現的位置為翅的背面或腹面
- 2.眼斑數目：以眼斑較明顯的翅面為準，分別計算在前翅及後翅上的眼斑數目。
- 3.眼斑色彩組成：記錄最大的眼斑的組成顏色，分成不同的層來記錄。由於大型眼斑通常為明顯由三個同心圓組成的圓形結構，故我們分別將每個同心圓依脊椎動物眼睛結構的名稱來命名，由外而內分別為輪廓—眼白—虹彩(如圖版一)，有些虹彩內尚有實心的瞳孔。
- 4.眼斑面積：(此部分測量實際標本)

由於具眼斑的種類眾多，我們選擇眼斑較大而明顯的種類標本進行此部分研究，種類包括了蛺蝶科的孔雀蛺蝶(蛺蝶類)、台灣波眼蝶(眼蝶類)及灰蝶科的蘇鐵小灰蝶為主，各種類的特性如下：

A.種類

(a)孔雀蛺蝶：

外緣及前翅前緣、中室有黑褐色細紋，肛角尖突，翅面為橙黃色有紅紫色眼斑。腹面為灰黃褐色，在中央有淡黃色縱帶且外側有紫黑色小型眼斑，雌、雄蝶在色澤斑紋上類似。成蟲主要發生期在夏季，翅展 5.0~5.5 公分，分高、低溫兩型。高溫型前翅近頂角有一枚小眼斑，後翅中域有一枚大型眼斑，下方有一枚小眼斑，整個外型似枯葉，市區公園至低海拔山區常見。

(b)台灣波眼蝶：

後翅有灰白色緣毛，翅為暗褐色。腹面密布灰白色細紋，在翅端有一個大型的黑眼斑，後翅亞外緣在肛角及上方、前緣各有一個黑眼斑。雄蝶後翅亞外緣在肛角上方有一個黑眼斑；雌蝶翅型較雄蝶為大型且底色較淡，前翅在翅端附近及後翅亞外緣在肛角上方有一個黑眼斑。成蟲幾乎全年可見，主要發生其在春季期間。分布於北~南部平地至低山區。

(c)蘇鐵小灰蝶：

腹面為淡灰褐色，前、後翅中央及後翅內側有縱列灰黑褐色的斑點。翅面在肛角上方有黑色斑點，雄蝶呈藍灰色且外緣呈灰黑色，雌蝶則全呈灰黑色。成蟲主要發生其在春末至秋季期間，分布於局部南部平地至低地。

B.測量

將上述三種蝴蝶標本各 10 隻，處理如下：

- (a)將蝴蝶標本製於標本枱上，以數位相機照相，檔案轉入電腦後，利用軟體 Image Pro Plus，將欲測量的區域框選後測量面積。
- (b)每種蝴蝶測量 10 隻，每一隻皆測量右側(1)前、後翅的面積、(2)翅膀背腹面大型眼斑各部位面積、(3)翅膀背腹面小型眼斑各部位的面積。

C.分析

- (a)基本分析：利用 Excel 軟體計算眼斑和翅面積的平均值和標準差。
- (b)相關分析：將眼斑、輪廓、眼白、虹彩、瞳孔等區域的面積分別對翅面積作相關分析。此部分使用 JMP 軟體。

5.幼蟲的眼斑分析：由於圖鑑少有幼蟲的圖片，我們自行到野外去拍攝，拍攝的種類包括大琉璃紋鳳蝶、大鳳蝶、臺灣白紋鳳蝶、臺灣鳳蝶、白紋鳳蝶、無尾鳳蝶及翠鳳蝶等 8 種蝴蝶(圖版二)，照片共有 20 張。利用這些照片來分析其眼斑的及色彩組成。

肆、結果

由臺灣蝴蝶圖鑑中(李, 2002)中，我們檢視具有清楚眼斑的種類，包括蛺蝶科 22 種及灰蝶 19 種。至於從馬祖彩蝶圖鑑(李, 2000)中，蛺蝶科 5 種及灰蝶科 6 種。

一、眼斑位置

在臺灣的蛺蝶科具有眼斑的 22 種(附錄一)，19 種的腹面眼斑較為明顯，背面明顯者僅有 3 種。而臺灣具有眼斑的灰蝶有 19 種，這 19 種的眼斑皆在腹面。馬祖的蛺蝶科具有眼斑的有 5 種，其中 3 種的眼斑在腹面較明顯，另 2 種則是背面較明顯。馬祖的灰蝶科中 6 種具有眼斑，全部種類皆以腹面較為明顯。這表示眼斑在大部分的種類以翅的腹面較明顯。

二、眼斑數目

臺灣的蛺蝶科具有眼斑的種類中，前翅的眼斑數從 1 到 5 個(圖一)，而只有 1 個眼斑者有 12 種；後翅眼斑數為 1 到 7 個(圖二)，其中有 6、4、3 個眼斑者皆各有 5 種。臺灣的灰蝶前翅都無眼斑，後翅眼斑從 1 到 4 個(圖二)，其中 2 個眼斑的種類數最多有 13 種，4 個眼斑的有 1 種，5 個種類為 1 個眼斑。在馬祖的蛺蝶科中，前翅有 1 到 3 個眼斑(圖三)，1 個及 2 個眼斑的各 2 種；後翅的眼斑數為 1 到 6 個(圖四)，2 個眼斑的有 2 種，1、3、6 個眼斑的各 1 種。至於馬祖的灰蝶，其眼斑僅在後翅才有，數目為 1-3 個(圖四)，有 2 個眼斑最多有 3 種。

三、眼斑結構及色彩組成

臺灣的蛺蝶科中，在此類群之眼斑色彩結構如(表一)，輪廓以灰褐色佔多數，眼白部份

黑色為 1 種，其他 21 種都為黃色。虹彩部份，黑色有 17 種，褐色有 3 種。瞳孔則白色有 16 種，淡藍有 6 種。台灣的灰蝶的眼斑結構方面，眼輪廓從不清晰、灰色到黑色(表一)；眼白只有黃、橘紅及灰黃，其中黃色佔大部份(11 種)；虹彩全部為黑色(19 種)；瞳孔紋則全部灰蝶種類皆無。

在馬祖的蛺蝶科中，眼斑的色彩結構方面，輪廓為黑色有 4 種、灰褐色的 1 種(表二)；眼白 5 種都為黃色；虹彩則有褐、紫、深褐及深藍等(表二)；瞳孔 4 種為白色及 1 種淡藍色。馬祖的灰蝶眼斑色彩結構方面，輪廓由不清晰到黑色；眼白 6 種全部為黃色；虹彩 6 種都為黑色；全部種類皆無瞳孔(表二)。

四、眼斑面積

測量的孔雀蛺蝶、台灣波眼蝶、蘇鐵小灰蝶的眼斑及各結構平均值及標準差如表三。蝴蝶眼紋面積與翅面積的相關分析方面，在孔雀蛺蝶(表四)中，大眼的輪廓及眼白和翅膀的面積不論前後翅、背面腹面都沒有相關，但是虹彩就有很大的差異，翅膀背面為顯著正相關，翅膀腹面為顯著負相關，瞳孔則相關性不顯著。小眼的各部位，除了前翅背面的虹彩外，都沒有顯著的相關性。所有眼斑加起來的面積也與翅面積無相關。

台灣波眼蝶的大眼除了後翅背面的輪廓及眼白為無相關外，其餘位置的大眼輪廓及眼白皆呈正相關的趨勢，其中在前翅腹面更達正相關。小眼僅在後翅腹面才有，幾乎都是正相關的趨勢。整體的眼斑面積和翅面積皆呈正相關趨勢。

蘇鐵小灰蝶僅後翅具有眼斑。後翅背面的眼斑各部無法區分，面積與翅面積無關。後翅腹面具有大眼及小眼，大眼的輪廓不清晰，眼白及虹彩的面積皆與翅面積呈正相關。小眼結構簡單，與翅面積無相關。後翅腹面的眼斑面積與翅面積無相關。其餘台灣及馬祖產的各種蝶的眼斑結構各部位的比例如表五及六。

五、幼蟲的眼斑分析：

這些鳳蝶之幼蟲之體色都為墨綠色，眼斑都在身體的前方非常明顯，眼斑之輪廓都是黑色，眼白部位所佔比例小，大都為淡綠色，有些由紅線組成，虹彩部位都為黑色，但大琉璃紋鳳蝶例外整個眼球是紅色。至於瞳孔則都呈細線狀且為白色。眼白及虹彩的比例(表七)。

伍、討論

蝴蝶的眼斑功用大部份的文獻提及的都與防禦天敵有關，但是依照作用的方法又分為二種，即驚嚇天敵及欺騙天敵。在我們所觀察的蝴蝶種類中，眼斑皆以以腹面者較為明顯（表一），這應該就是禦敵方式的證據，因為蝴蝶在停棲時翅膀是閉合的，翅膀閉合時翅膀腹面是顯露在外的，眼斑在此面明顯有較容易防止敵人的攻擊。前後翅是否都有眼斑呢？觀察 47 種台灣的蝴蝶，其中背面前翅有眼斑的為 23/47，後翅為 28/47；前翅腹面有眼斑的有 35 種，後翅腹面有眼斑的則有 45 種，這顯示眼斑以腹面及後翅較多。後翅是蝴蝶的眼睛較不能直接看到的部份，非常容易受攻擊，眼斑長在此處可以告訴天敵，有眼睛正盯著牠的一舉一動。

眼斑是否有共同的特色呢？依據表一及二的組成色彩記錄，我們可以發現大部分的眼斑在眼白及虹彩的部分都很明顯，眼白幾乎都以黃色為主，虹彩則是暗色或黑色系為主，這表示淡色的眼白加上深色的虹彩是動物眼睛最明顯的特色，動物警戒色上如胡蜂上最需要出現的就是這兩個特徵。而輪廓及瞳孔的功能可能是在加強擬態的效果。在日常看到的顏色中，基本可分二類，即組成輪廓物品外形的、明度對比的，例如黑/白，或深/淺等。在觀察蝴蝶眼斑色彩組成時(表一)，我們蝴蝶眼斑之外形即為深/淺對比，如褐色/黃色，或黑色輪廓等，可使眼斑的外形不會改變。從色相來探討，暖色和冷色搭配在一起，則使物體會更有突出的效果，例如紫/淡藍，黃/紫，黃/黑，淡藍/深藍，橙/藍，黑/白等。在觀察許多蝴蝶的眼斑中，虹彩部位大多為深色(黑、深褐等)，瞳孔部位則為小的白點或淡藍點，而眼白和虹彩的顏色為淺/深(黃/黑，黃/褐等)，這都使眼斑有突出的效果。

不同科的蝴蝶眼斑的禦敵的作用方式是否不同呢？在蛺蝶科中，通常牠們眼斑都較大且結構及輪廓都相當清楚：眼斑輪廓都由黑色或褐色組成，使眼形相當明顯；眼白絕大部份由黃色(少數黑色)組成；虹彩部位則都為黑色，與眼白恰好呈現黃—黑強烈對比的安排，由於在具有警戒色的動物中，黑—黃是相當重要的組成顏色(Owen, 1980)，故這種對比有助於警戒訊息的傳達。再者蛺蝶類的眼斑更是具有白色或淡藍色的瞳孔，使得眼斑與脊椎動物的眼睛更為相似，使眼斑的突顯更為明確。故蛺蝶科的眼斑顯然是恫喝天敵之用。

而灰蝶科的眼斑通常不清晰且結構及色彩組成都較簡單(表一及二)，沒有瞳孔斑，輪廓的顏色通常不清晰，使牠們的眼斑相對的看起來與脊椎動物的不相似。灰蝶科的種類常常在後翅有如觸角狀突起，使整個後翅的尾端宛如蝴蝶的頭部，這假頭顯然是種欺敵作用(Owen, 1980)，使天敵在攻擊時產生錯誤，增加自己的存活機率。灰蝶類眼斑數以二個為最多，這是一種雙重保險，當受天敵攻擊而失去了其中一個，還有另外一個可以繼續偽裝。

蛺蝶科的眼斑數目變異很大，在我們檢視過臺灣種類，曲紋眉眼蛺蝶的後翅就有 7 個眼斑(並且在背面)。眼斑較多，可能具有告知天敵有許多眼睛在注視著牠的功能。但是效果是否會比少數大而明顯的眼斑來得有效果？有關眼斑數目研究及功能的文獻極少。

從結果也可看出眼斑在翅上數目的變異大，而且同一翅上的眼斑之大小變化也很大，由不同大小組合，我們推想在翅拍動時，可能容易使天敵同時看到多數眼睛，達到嚇阻效果。

而只有一眼斑的眼斑明顯比多個眼斑要大。大而突出感，威嚇的效果大。從另外一個角度看，數目多具大大小小不同，就具有混淆天敵的功能。在我們的觀察中，發現眼蝶科的蝴蝶在休息時通常都是眼斑數較多、或眼斑較突出明顯且顏色鮮豔的腹面朝外；蛺蝶科的蝴蝶在休息時通常則是眼斑及顏色較為明顯的背面朝外，以恐嚇敵人。

最近在美國紐約水牛城大學之 Kendra Robertson (2005) 在 The proceedings of Royal Society B: Biological Sciences 報告，指出雌性 *Bicyclus anynana* 對雄蝶眼斑之大小沒興趣，但只對眼斑瞳孔的反射光有興趣。因為蝴蝶在飛翔不斷拍的翅膀時使瞳孔部位的反光變成閃爍狀。雌蝶就受此閃光吸引。她指出瞳孔斑不能太大，太大就沒吸引的效果，同時也提到在不同種眼斑可能功用不同。但此研究指出了一個研究蝴蝶眼斑的新方向，即在某些蝴蝶眼斑有吸引異性的效果。在鳥類中孔雀的尾扇上有很多的眼斑，其主要功用就是在吸引雌孔雀。在我們探討檢視的物種中，不只一個眼斑的物種很多，這是否和孔雀尾羽一樣可能有求偶上的功能。在蝴

蝶眼斑此方面很值得科學家更深入的探討。

在我們測量分析眼斑大小和蝴蝶翅的面積看不出一定的關係(表五及六),即不同種間變異極大,這應可由 Kendra Robertson 的發現得到一些應證。她指出雌蝶對雄蝶眼斑的大小沒興趣。因此在有眼斑的眾多蝴蝶中,其眼斑的功用究竟是嚇敵?欺騙天敵?或吸引異性?科學家可能須對每一有眼斑的蝴蝶更深入的去研究釐清。

幼蟲的眼斑是在圓柱狀身體前方和成蟲平面的翅是有很大的差別,瞳孔呈細線狀(圖版二)就如光線照在半圓球或橢圓球上所反射光影類似。因蟲體為綠色,而黑/綠 或紅/綠 的搭配對比明顯,此亦有使眼斑突顯的效果。幼蟲有眼斑者都為鳳蝶科然而成蝶就沒有。蛺蝶的幼蟲則無眼斑。故幼蟲、成蟲眼斑之有無沒有必然的關係這應該和幼蟲及成蟲棲息環境有關。

其他類的動物也有眼斑,和蝴蝶的眼斑有共通性嗎?在魚類之蝶魚中有不少也有眼斑,我們檢視魚類圖鑑上的藍腰蝶魚、揚旛蝶魚、尖嘴蝶魚、月斑蝶魚、一點蝶魚及笨氏蝶魚等六種的眼斑(臺灣省政府教育廳自然科學教育叢書,1985)。牠們的眼斑都位在身體後端,接近尾基部。其眼斑和蝴蝶之眼斑類似,但都缺少深色輪廓,眼白比例比蝴蝶之眼斑要小且為白色或淡藍色,這和蝴蝶眼斑之黃色眼白不同。虹彩部份都為黑色且比例大。所有蝶魚的眼斑都無瞳孔,這可能和光線透過水層照射到物體時很難有反射的關係。陽光透過水層之後首先被吸收的是長光波,紅、橙及黃比其他的光譜更早消失。因此在水中活動的蝶魚眼斑之眼白部份的顏色和比例都和陸棲之蝴蝶眼斑不同是有道理的。

眼斑是由焦點細胞(foci cell)分泌的形態素(morphogen)所擴散的濃度梯度,再由不同梯度決定色素形成,最後便造成一般肉眼可見的環狀眼斑。焦點細胞分泌的形態素濃度會受到周遭環境的因素如溫度、濕度、光週期與自身基因調控的因素如蛻皮激素的影響,因而造成眼蝶亞科及蛺蝶亞科之眼斑在不同季節會具有不同的表現型(從型態與生理證據重新探討密紋波眼蝶複合群的分類問題 闕宏軒)。

未來希望在顯著相關的數值中,繼續研究是否有固定的比值;以及溫度和光照等環境因子對眼紋比例值的影響;比較相似種眼斑的關係,是否有一定的關係。我們現在只是對眼斑基礎的研究,期望以後能夠更進一步探討眼斑的顏色是否和棲地及天敵捕食動物有關:例如同種分別生活在不同地區的蝴蝶,地區天敵的數量是否會影響蝴蝶眼斑的數目或大小。蝴蝶眼斑若改變(製造眼斑)是否會對捕食動物及同種不同性別的個體的反應有所差異。

陸、結論

- 一、蝴蝶眼斑數目在不同種間變異很大,眼斑位在翅腹面較多,眼斑面積和翅的面積並沒有一定的關係,不同種間差異大。
- 二、眼斑的基本構造相似;由 2-4 個的同心圓組成。由外而內分別是輪廓、眼白、虹彩及瞳孔。眼白絕大部份為黃色,虹彩則為黑色或深褐色,二者對比很明顯。有瞳孔者為白色或淡藍色點。灰蝶科都無瞳孔。
- 三、幼蟲有眼斑者以鳳蝶科為主,其成蟲無眼斑。幼蟲眼斑結構和他種成蟲眼斑的結構類似,然眼白和虹彩之比例值比翅上眼斑要小很多,且幼蟲眼斑之瞳孔都為細白線,我們推想這應和幼蟲蟲體為立體結構而非平面有關。

四、比較蝴蝶和海域中蝶魚之眼斑，二者結構也類似，但蝶魚眼斑之深色虹彩更明顯，且都無瞳孔，我們推想這和些光譜透過水層會被吸收消失有關。

五、文中討論到蝴蝶眼斑除驚嚇和欺敵作用外，有些種類可能有吸引異性的功能。

柒、參考文獻

- 丁澤民、王偉、張世珍、連慧瑞編譯。生物學(上冊)。藝軒出版社印行。488 頁。
- 李俊延、王効岳。2002。自然珍藏系列—台灣蝴蝶圖鑑。貓頭鷹出版社。303 頁。
- 李俊延、王効岳。1999。宜蘭縣自然資源系列叢書 2—台灣蝴蝶寶鑑。宜蘭縣自然史教育館。268 頁。
- 李俊延。2000。馬祖彩蝶圖鑑。福建省連江縣政府。245 頁。
- 徐培峰。2004。自然追蹤—近郊蝴蝶。聯經。231 頁。
- 張永仁。1994。陽明山國家公園解說叢書。賞蝶篇(上)。陽明山國家公園。133 頁。
- Ruxton, G..D., T.N. Sherratt, of M.P. speed. 2004. Avoiding attack—The Evolutionary Ecology of Crypsis, Warning Signals of Mimicry. Oxford University Press. 249.p.
- Arbesman. S., Leo. Enthover, of A. Monteiro. 2003. Ancient wings: animating the evolution of butterfly wing patterns. Biosystems 71& 289-295.
- Brakefield, P. M. et. al. 1996. Development, plasticity of evolution of butterfly eyespot patterns. Nature 384:236-242.
- Nijhout, H. F. 1996. Focus on butterfly eyespot development. Nature. 384:209-210
- Milius. S. 2005. Horo the Butterfly gets its spots and what they tell us about fate. Science News. online. 2005/10/25.
- Owen. D. 1980. Camouflage and mimicry. Oxford University Press. 158p.
- Belade. P.,d P.M. Brakefield. 2003. The difficulty of agreeing about constraints. Evol. Dev 5(2):119-120.

表一、台灣產蛺蝶科及灰蝶科眼斑各部位顏色的種類數表。

眼斑部位	顏色	蛺蝶科(種類)	灰蝶科(種類)
輪廓	(不清晰)		8
	灰		4
	灰褐	15	2
	褐	6	
	黃	1	
	灰黑		1
	黑		4
眼白	橘紅		7
	*黃	21	11
	灰黃		1
	黑	1	
虹彩	*黑	17	19
	深褐	2	
	褐	3	
瞳孔	*白	16	
	淡藍	6	

表二、馬祖產蛺蝶科及灰蝶科眼斑各部位顏色的種類數表。

眼斑部位	顏色	蛺蝶科	灰蝶科
輪廓	(不清晰)		3
	灰褐	1	1
	*黑	4	2
眼白	*黃	5	6
虹彩	褐	1	
	紫	1	
	深藍	1	
	深褐	2	
	黑		6
瞳孔	白	4	
	淡藍	1	

表三、三種蝴蝶的前後翅面積及眼斑各部位面積值表(平均值±標準差)

種類			孔雀蛺蝶	台灣波眼蝶	蘇鐵小灰蝶
前翅	面積		7.010±0.757	3.892±0.526	2.100±0.487
		眼數			
	背面	眼斑面積	0.451±0.081	0.321±0.057	
		眼斑眼白	0.338±0.139	0.185±0.072	
		眼斑虹彩	0.147±0.067	0.142±0.026	
		眼斑瞳孔	0.158±0.020	0.016±0.004	
	腹面	眼數			
		眼斑面積	0.283±0.059	0.321±0.067	
		眼斑眼白	0.139±0.078	0.193±0.090	
		眼斑虹彩	0.108±0.026	0.121±0.032	
		眼斑瞳孔	0.090±0.015	0.034±0.052	
後翅	面積		7.901±1.704	3.223±0.495	1.447±0.227
		眼數			
	背面	眼斑面積	1.110±0.139	0.161±0.035	0.006±0.007
		眼斑眼白	0.316±0.041	0.089±0.020	0.011±0.006
		眼斑虹彩	0.262±0.065	0.066±0.017	0.013±0.006
		眼斑瞳孔	0.532±0.061	0.007±0.003	0.013±0.006
	腹面	眼數			
		眼斑面積	0.372±0.052	0.204±0.047	0.018±0.005
		眼斑眼白	0.146±0.058	0.117±0.032	0.018±0.005
		眼斑虹彩	0.149±0.032	0.081±0.022	
		眼斑瞳孔	0.155±0.044	0.007±0.001	

表四、各種類各眼斑部位面積與翅面積的相關分析結果，測量部位皆為雄性夏型的右翅。蘇鐵小灰蝶的前翅無眼斑。表中空白者表示無此斑紋部位。

種類	孔雀蛺蝶				台灣波眼蝶				蘇鐵小灰蝶	
	前翅 背面	前翅 腹面	後翅 背面	後翅 腹面	前翅 背面	前翅 腹面	後翅 背面	後翅 腹面	後翅 背面	後翅 腹面
大眼輪廓	無	無	無	無	+	+S	無	+	無	
大眼眼白	無	無	無	無	+	+S	無			+S
大眼虹彩	+S	-S	+S	-S	無		+S	無		+S
大眼虹彩(2)				無	無					
大眼瞳孔	+		-							
大眼瞳孔(2)			無							
小眼輪廓	無	無	無	無					+S	
小眼眼白			無	+				無		無
小眼虹彩	+S	無	無	無				+		
小眼虹彩(2)	+	無						+		
小眼虹彩(3)		無								
眼斑面積	無	無	無	無	+		無		無	無

+：表示正相關；-：表示負相關；S：表統計上顯著；無：表示無相關。

表五、台灣產蝶類之眼斑各部位比例表

台灣	比例			
	眼斑	眼白	虹彩	瞳孔
淡紋黛眼蝶	1.000	0.102	0.414	0.102
巴氏黛眼蝶	1.000	0.235	0.496	0.144
變斑黛眼蝶	1.000	0.249	0.212	0.435
永澤蛇目蝶	1.000	0.189	0.482	0.329
古眼蝶	1.000	0.304	0.337	0.236
波紋黛眼蝶	1.000	0.209	0.529	0.106
玉帶黛眼蝶	1.000	0.059	0.786	0.155
褐翅鏈眼蝶	1.000	0.454	0.459	0.087
淡色眉眼蝶	1.000	0.177	0.676	0.147
曲紋眉眼蝶	1.000	0.164	0.619	0.089
眉眼蝶	1.000	0.100	0.729	0.171
稻眉眼蝶	1.000	0.218	0.612	0.170
窄翅波眼蝶	1.000	0.230	0.454	0.136
大藏波眼蝶	1.000	0.191	0.487	0.137
台灣小波眼蝶	1.000	0.251	0.424	0.097
小波眼蝶	1.000	0.208	0.507	0.182
白紋波眼蝶	1.000	0.236	0.409	0.141
江崎波眼蝶	1.000	0.243	0.532	0.149
寶島波眼蝶	1.000	0.195	0.467	0.114
巨波眼蝶	1.000	0.190	0.426	0.215
達邦波眼蝶	1.000	0.240	0.416	0.177
箭環蝶	1.000	0.098	0.531	0.139
姬白灰蝶	1.000	0.205	0.746	0.000
青珈波灰蝶	1.000	0.238	0.594	0.000
白波灰蝶	1.000	0.247	0.753	0.000
台灣紅灰蝶	1.000	0.344	0.359	0.297
白灰蝶	1.000	0.152	0.848	0.000
白底烏灰蝶	1.000	0.382	0.466	0.000
江崎烏灰蝶	1.000	0.243	0.574	0.000
鼠李烏灰蝶	1.000	0.351	0.596	0.000
田中烏灰蝶	1.000	0.112	0.749	0.000
阿里山鐵灰蝶	1.000	0.511	0.489	0.000
夸父矽灰蝶	1.000	0.501	0.341	0.000
玉山鐵灰蝶	1.000	0.375	0.537	0.000
江崎綠灰蝶	1.000	0.457	0.543	0.000

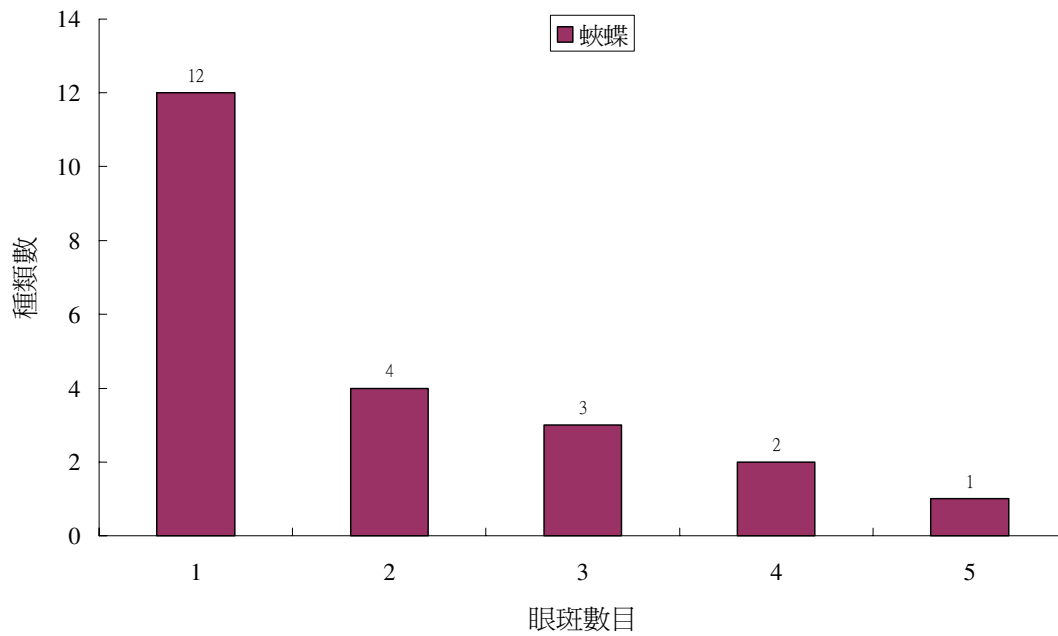
台灣	比例			
	眼斑	眼白	虹彩	瞳孔
拉拉山綠灰蝶	1.000	0.345	0.433	0.000
台灣單帶綠灰蝶	1.000	0.301	0.621	0.000
泰雅鎧灰蝶	1.000	0.363	0.561	0.000
燕灰蝶	1.000	0.272	0.602	0.000
蓬萊虎灰蝶	1.000	0.622	0.378	0.000
白裡青灰蝶	1.000	0.223	0.777	0.000
平均	1.000	0.263	0.536	0.172
平均(全部)	1.000	0.263	0.536	0.096

表六、馬祖產蝶類之眼斑各部位比例表

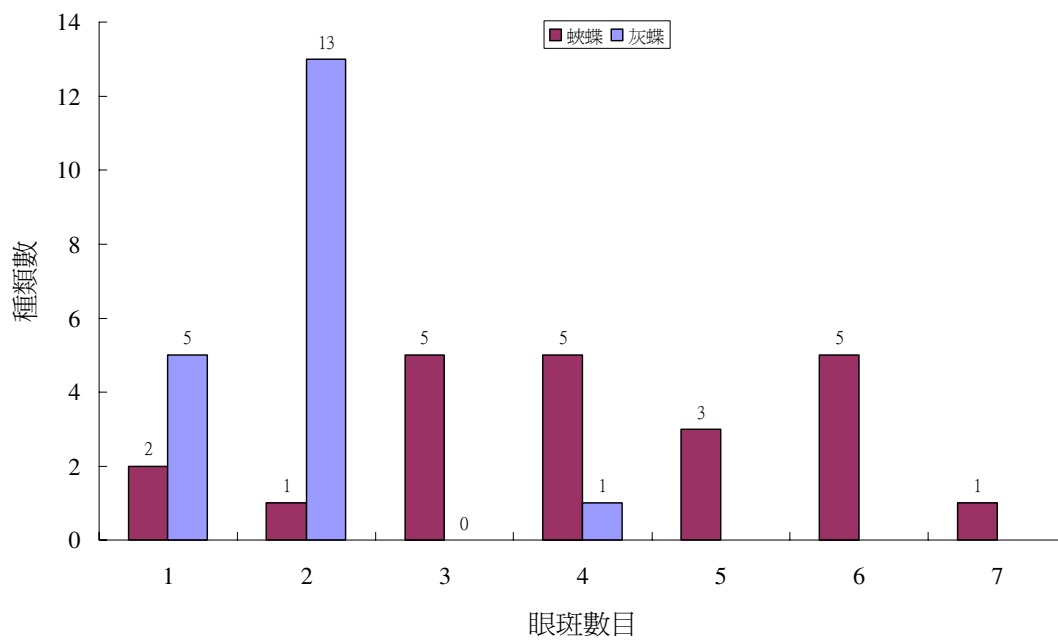
馬祖	比例			
	眼斑	眼白	虹彩	瞳孔
青眼蛺蝶	1.000	0.370	0.470	0.120
眼蛺蝶	1.000	0.325	0.443	0.136
無斑波眼蝶	1.000	0.335	0.474	0.103
小波眼蝶	1.000	0.256	0.554	0.110
暮眼蝶	1.000	0.285	0.550	0.165
紫白波灰蝶	1.000	0.183	0.733	0.000
波紋灰蝶	1.000	0.331	0.502	0.109
小波灰蝶	1.000	0.233	0.670	0.000
藍灰蝶	1.000	0.404	0.474	0.000
白尾灰蝶	1.000	0.329	0.533	0.000
白波灰蝶	1.000	0.305	0.685	0.000
平均	1.000	0.305	0.553	0.124
平均(全部)	1.000	0.305	0.553	0.068

表七、蝴蝶幼蟲眼斑中眼白及虹彩的比例

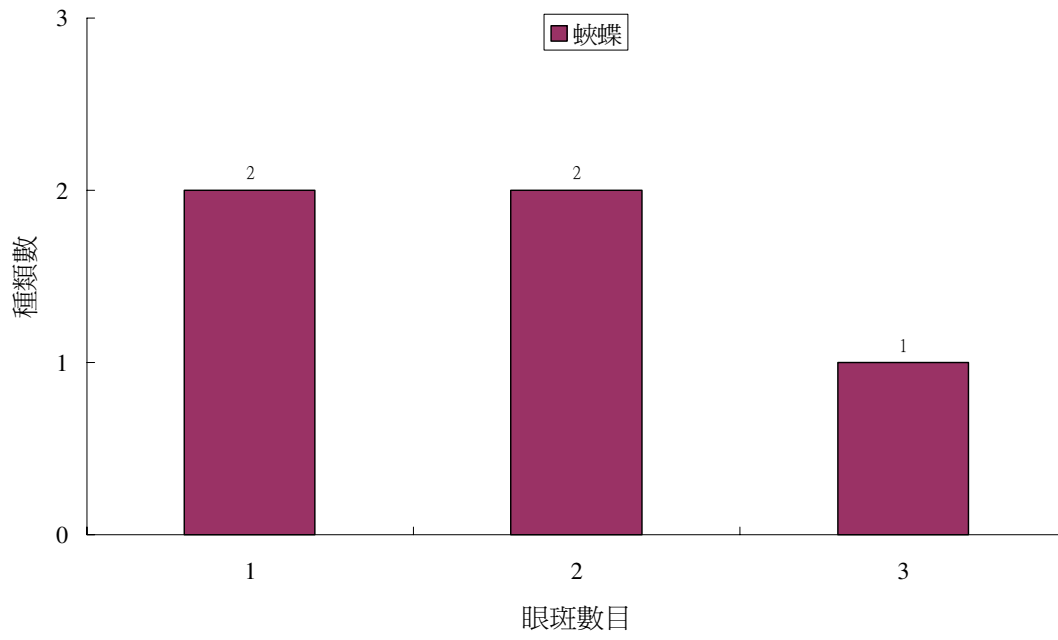
幼蟲	比例			
	全	眼白	虹彩	瞳孔
翠鳳蝶	1.000	0	1	線形
大鳳蝶	1.000	0.167	0.833	線形
大琉璃紋	1.000	0	1	線形
台灣白紋	1.000	0.4	0.6	線形
台灣鳳	1.000	0.4	0.6	線形
白紋	1.000	0.45	0.55	線形
無尾鳳蝶	1.000	0.25	0.75	線形
黑鳳蝶	1.000	0.286	0.714	線形
平均	1.000	0.244	0.756	



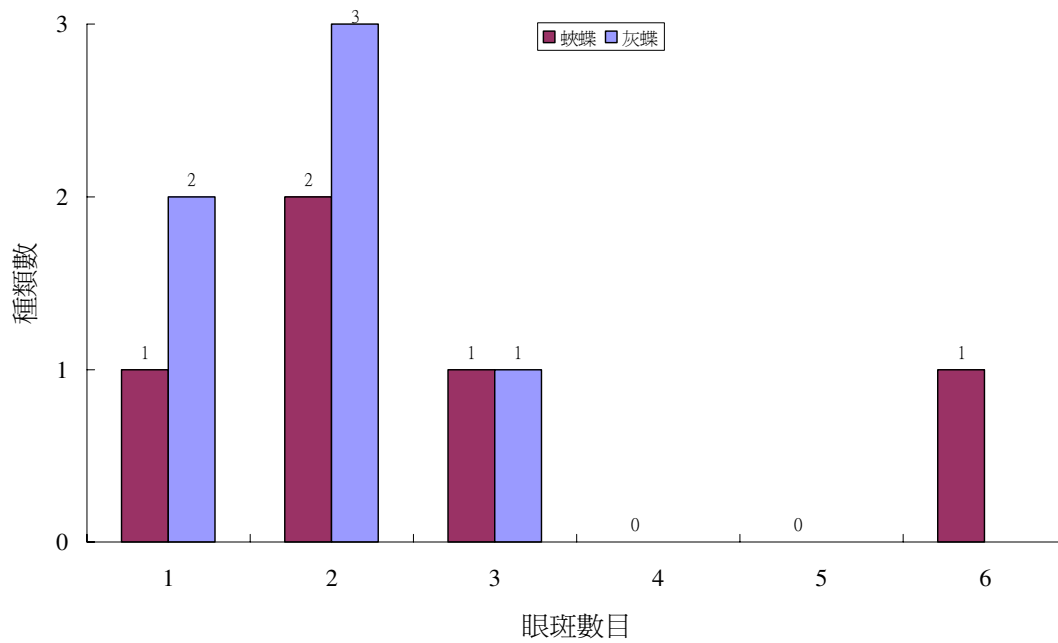
圖一、台灣產蛺蝶科前翅眼斑數目種類數圖。



圖二、台灣產蛺蝶科及灰蝶科後翅眼斑數目種類數圖。



圖三、馬祖產蛺蝶科前翅眼斑數目種類數圖。



圖四、馬祖產蛺蝶科及灰蝶科後翅眼斑數目種類數圖。

附錄一、台灣產蝶類眼斑資料

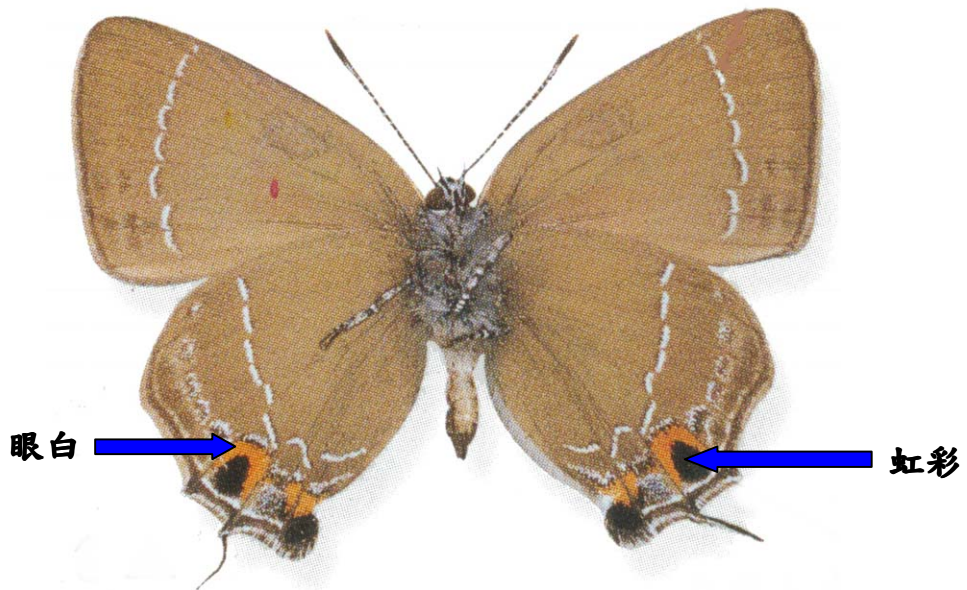
種名名	眼紋明顯之面翅(V)(D)			眼	瞳孔	棲地
	前翅	後翅				
淡紋黛眼蝶	(V)	3	6	褐→淡褐→黑	白	開闊
巴氏黛眼蝶	(V)	4	6	灰→黃→黑	白	林緣
攀斑黛眼蝶	(V)	1	3	深褐→黃→黑	白	路邊
永澤蛇目蝶	(D)	2	5	褐→黃→黑	白	草地
古眼蝶	(V)	1	3	灰褐→黃→黑	白	開闊
波紋黛眼蝶	(V)	3	6	灰褐→黃→黑	白	開闊
玉帶黛眼蝶	(V)	2	6	灰褐→黃→黑	白	開闊
褐翅鏈眼蝶	(V)	3	7	灰褐→黃→深褐	白	開闊
淡色眉眼蝶	(D)	2	1	灰褐→黃→深褐	白	開闊
曲紋眉眼蝶	(D)	5	6	灰褐→黃→黑	白	開闊
眉眼蝶	(V)	1	3	灰褐→黃→褐	淡藍	林緣
稻眉眼蝶	(V)	2	1	灰褐→黃→褐	淡藍	林緣
窄翅波眼蝶	(V)	1	4	灰褐→黃→黑	淡藍	林緣
大藏波眼蝶	(V)	1	4	褐→黃→黑	淡藍	林緣
台灣小波眼蝶	(V)	1	3	褐→黃→黑	淡藍	林緣
小波眼蝶	(V)	1	2	灰褐→黃→黑	淡藍	林緣
白紋波眼蝶	(V)	1	5	灰褐→黃→黑	白	林緣
江崎波眼蝶	(V)	1	3	灰褐→黃→黑	白	林緣
寶島波眼蝶	(V)	1	4	灰褐→黃→黑	白	林緣
巨波眼蝶	(V)	1	4	灰褐→黃→黑	白	林緣
達邦波眼蝶	(V)	1	4	灰褐→黃→黑	白	林緣
箭環紋蝶	(V)	4	5	黃→黑→褐	白	疏林
姬白灰蝶	(V)	0	1	?→黃→黑	0	
青珈波灰蝶	(V)	0	1	灰褐→黃→黑	0	
白波灰蝶	(V)	0	1	?→黃→黑	0	
台灣紅灰蝶	(V)	0	2	灰→黃→黑	0	
白灰蝶	(V)	0	1	?→黃→黑	0	
白底烏灰蝶	(V)	0	1	灰黑→灰黃→黑	0	
江崎烏灰蝶	(V)	0	4	灰→橘紅→黑	0	
鼠李烏灰蝶	(V)	0	2	灰→橘紅→黑	0	
田中烏灰蝶	(V)	0	2	灰→橘紅→黑	0	
阿里山鐵灰蝶	(V)	0	2	?→黃→黑	0	
夸父瓘灰蝶	(V)	0	2	?→黃→黑	0	
玉山鐵灰蝶	(V)	0	2	灰褐→黃→黑	0	
江崎綠灰蝶	(V)	0	2	黑→黃→黑	0	
拉拉山綠灰蝶	(V)	0	2	?→橘紅→褐	0	
台灣單帶綠灰蝶	(V)	0	2	黑→橘紅→黑	0	
泰雅鋸灰蝶	(V)	0	2	黑→橘紅→黑	0	
燕灰蝶	(V)	0	2	黑→黃→黑	0	

蓬萊虎灰蝶	(V)	0	2	?→橘紅→黑	0	
白裡青灰蝶	(V)	0	2	?→黃→黑	0	
青眼蛺蝶	(D)	2	2	黑→黃→藍	淡藍	開闊
眼蛺蝶	(D)	2	1	黑→黃→紫	白	開闊
無斑波眼蝶	(V)	1	2	黑→黃→褐	白	開闊
小波眼蝶	(V)	1	3	黑→黃→深褐	白	開闊
暮眼蝶	(V)	3	6	灰褐→黃→深褐	白	開闊
紫白波灰蝶	(V)	0	1	?→黃→黑	0	
波紋灰蝶	(V)	0	2	黑→黃→黑	0	
小波灰蝶	(V)	0	2	黑→黃→黑	0	
藍灰蝶	(V)	0	3	?→黃→黑	0	
白尾灰蝶	(V)	0	2	灰褐→黃→黑	0	
白波灰蝶	(V)	0	1	?→黃→黑	0	

V：腹面；D：背面



A



B

圖版一、(A)巴氏黛眼蝶(B)鼠李烏灰蝶的眼斑及眼斑各部位的名稱(箭號所指)。



A

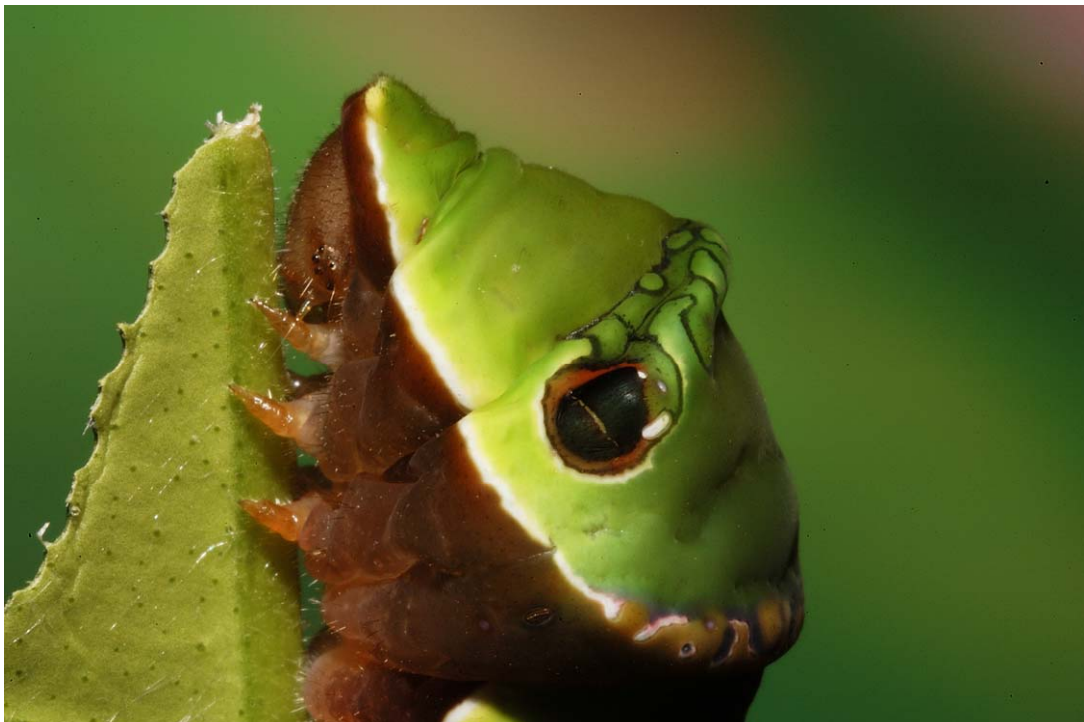


B

圖版二、(A)大鳳蝶及(B)白紋鳳蝶二種蝴蝶幼蟲身上的眼斑(箭號所指)。



C



D

圖版二(續)、(C)台灣白紋鳳蝶及(D)黑鳳蝶二種蝴蝶幼蟲身上的眼斑。



E



F

圖版二(續)、(E)大琉璃鳳蝶及(F)翠鳳蝶二種蝴蝶幼蟲身上的眼斑。

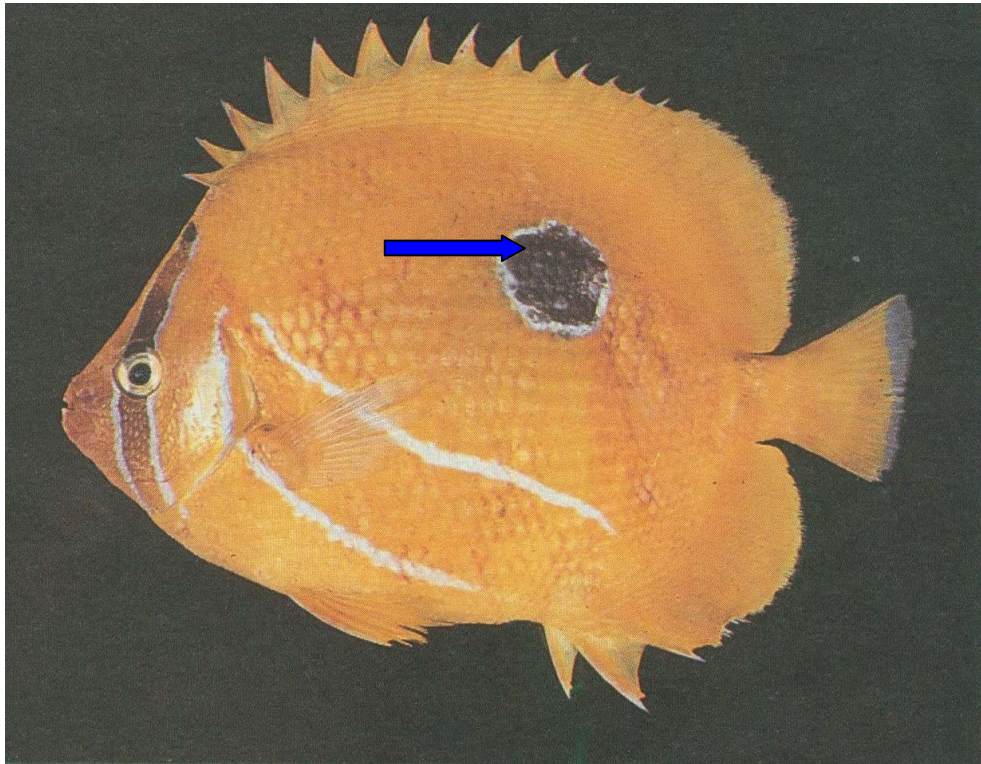


G

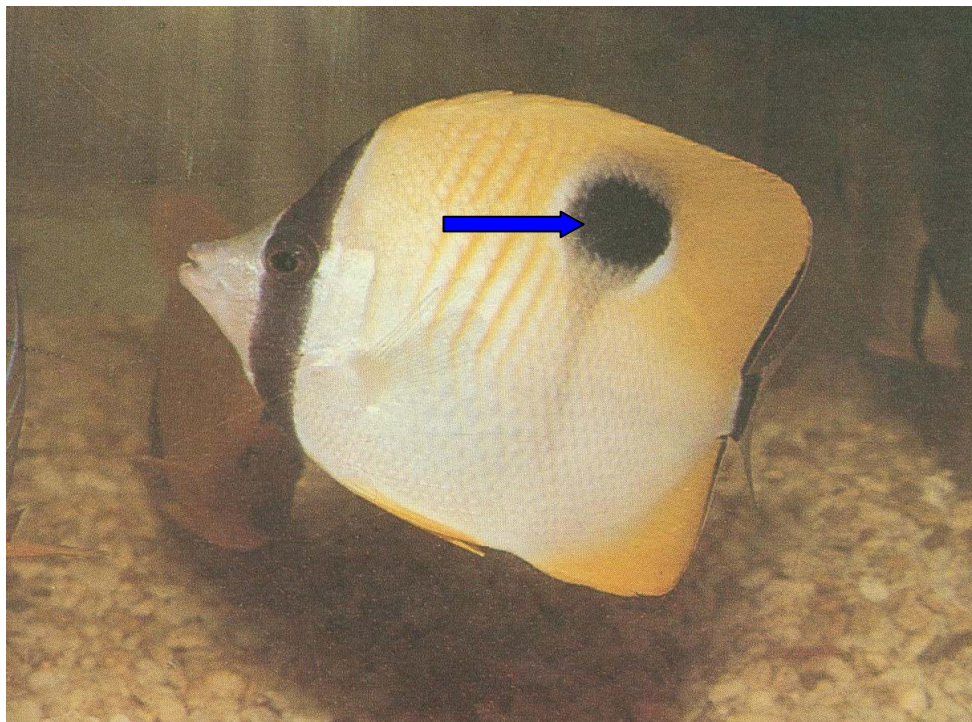


H

圖版二(續)、(G)台灣鳳蝶及(H)無尾鳳蝶二種蝴蝶幼蟲身上的眼斑。

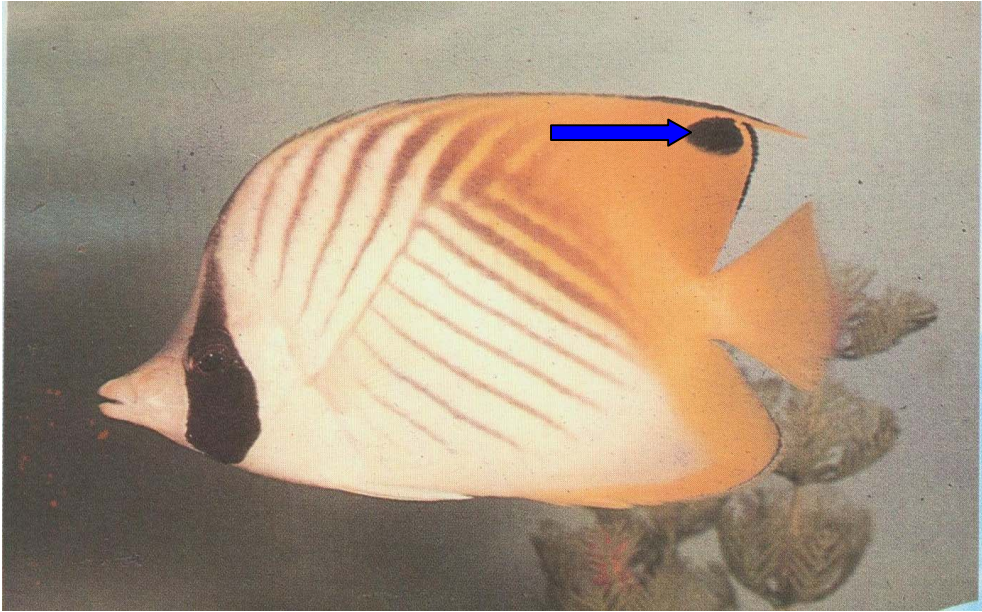


A



B

圖版三、蝶魚類身上的眼斑(箭號所指)。(A)笨氏蝶魚；(B)一點蝶魚。



C



D

圖版三(續)、蝶魚類身上的眼斑(箭號所指)。(C)揚鄒蝶魚；(D)藍腰蝶魚。

評語

本作品的蝴蝶眼斑的觀察很有趣，但缺乏明確的目標，也未與生物行爲及習性有任何相關。