

# 中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 生物科

佳作

080306

青斑蝶跨海翔飛之翅膀的秘密

學校名稱：宜蘭縣礁溪鄉四結國民小學

作者：	指導老師：
小五 翁士原	許淑蘭
小五 靳少程	黃翠瑜
小六 康峻皓	
小五 蔡宜錚	
小四 羅品涵	

關鍵詞：青斑蝶、展弦比、飛行實驗

## 摘要

從生態觀察中，找出成蝶翔飛的翅位法則，製做 1：1 蝴蝶飛行器，如大鳳蝶、青斑蝶、紫斑蝶、台灣三線蝶等。設計飛行實驗變項，如風速、風向等，以蝴蝶飛行器的滯空時間及滯空成功率模擬成蝶的翔飛能力與抗風性，並分析青斑蝶跨海翔飛的翅膀性質。

## 壹、研究動機

自然教室的書櫃中，有一本書「青斑蝶遷徙之謎」，作者是一個日本人佐藤英治。書中提到，1980 年日本就發現青斑蝶有遷徙的行為，一直到 1991 年才獲得證實。之後藉由標放，得知青斑蝶確實在不同季節乘著季風在台灣和日本之間移動，最遠距離 2034 公里，最長時間多達 40 多天。

我們覺得很詭異，青斑蝶的身體纖細，翅膀那麼小，如何能在日本與台灣之間跨海遷徙？

「青斑蝶不可能一口氣飛 2000 多公里，如果飛累了，可以先停在陸地上休息。」

「台灣到日本之間沒有大型的島嶼可以休息，所以青斑蝶不可能用飛的。」

「它可以像飛機一樣固定翅膀的姿勢，順著風飛。」

「有道理，這樣就不會浪費很多體力，才能做長途遷移。」

「這樣的飛行姿勢叫翔。」

「我們可以利用青斑蝶的翅膀做成飛機，研究它如何翔飛。」

「這是個好點子，lets do it.」

專家學者運用標記捕獲的方法，研究及證實青斑蝶的遷徙路徑。在好奇心的驅使下，我們想要探究青斑蝶翅膀的性質，再利用青斑蝶的翅膀作飛機，在不同的自然情境下，模擬青斑蝶翔飛的情形，以解開青斑蝶遷徙的翅膀秘密。

## 貳、研究目的

一、建立成蝶翔飛的翅位法則

(一)透過生態觀察蒐集成蝶翔飛翅位的照片

(二)分析成蝶翔飛翅位照片

(三)製作標本進行飛行實驗以驗證翔飛的翅位

二、測量並描述成蝶翔飛翅位的前翅長、面積、展弦比

三、研製 1：1 翔飛翅位的蝴蝶飛行器

四、運用蝴蝶飛行器滯空時間模擬成蝶翔飛能力

(一)比較鳳蝶科、斑蝶科、蛺蝶科蝴蝶飛行器翔飛能力

(二)分析成蝶翔飛行為的翅膀性質

五、運用蝴蝶飛行器滯空成功率模擬成蝶抗風性

(一)比較青斑蝶、紫斑蝶飛行器的抗風能力

(二)分析成蝶翔飛抗風性的翅膀性質

六、發現青斑蝶翅形結構的特性

## 參、文獻探討

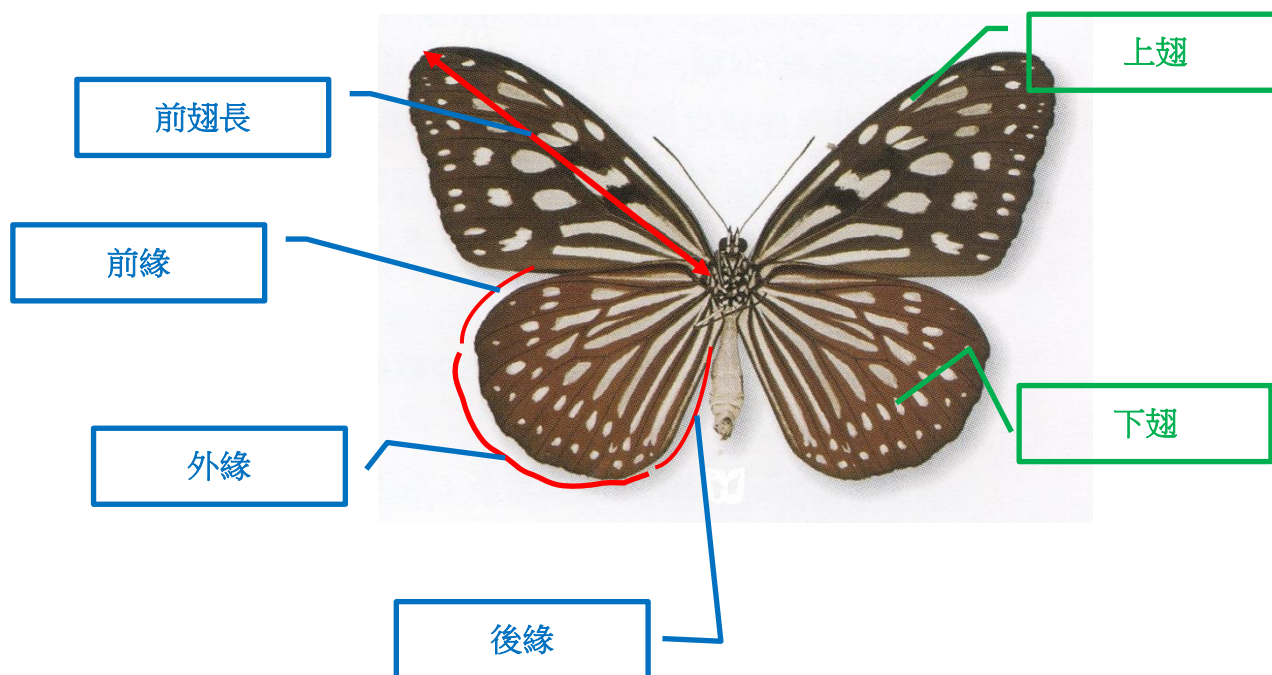
### 一、成蝶的翅膀

我們研讀了徐增峰先生所寫的台灣蝴蝶圖鑑，認識了成蝶翅膀的構造及部位名稱，說明如下：

#### (一)成蝶翅膀的構造

翅膀構造：成蝶的翅膀由膜質構成，膜上分佈著一條條骨化的翅脈，翅脈支撐整個翅膀的結構，內有氣管和神經。蝴蝶在分類上屬於動物界，節肢動物門，昆蟲綱，鱗翅目，鱗翅目的特徵是翅面上布滿呈覆瓦狀的鱗粉，用手觸摸成蝶翅面時，鱗粉會掉落。

(二)翅膀部位名稱，如下圖：



### 二、展弦比

展弦比 (Aspect Ratio)，為飛機空氣動力學的專有名詞。由於飛機在後掠翼發明前的主要設計，翼面由上往下看都是呈長方形，所以有所謂的寬高比，也就是翼展和翼弦長（氣流過機翼通過的長度）的比值，所以命名為展弦比。而後來的翼面設計逐漸複雜不適合簡單的比值，而改其其定義為機翼的翼展平方與機翼翼面積的比值： $AR = \frac{b^2}{S}$

其中 AR 為展弦比，b 為翼展長度，S 為翼面積。

摘錄網址：<https://zh.wikipedia.org/wiki/>

## 肆、研究方法

### 一、成蝶自然生態觀察

(一)自然生態觀察：以步行的方式在步道中觀察成蝶飛行的狀態並拍照

(二)時間：110年9-11月、111年3-4月。

(三)地點：跑馬古道

### 二、製做蝴蝶標本

#### (一)製做流程

1.將蝴蝶放入有酒精棉片的培養皿中，待蝴蝶死亡後取出。



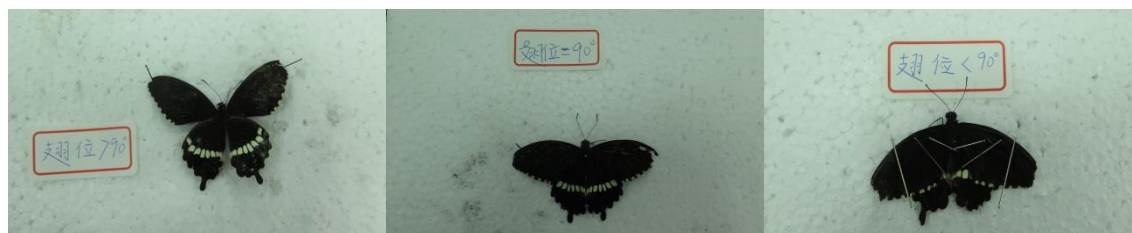
2.將蝴蝶放置於保麗龍板上，調整翅膀的位置。



3.將標本放在通風處，待乾燥後進行實驗



## (二)不同翅位的標本成品



三、成蝶翔飛標本飛行實驗：將標本從廊道(高度約 3 公尺)平放，測量成蝶翔飛標本的滯空時間及觀察標本在空中的狀態。



## 四、測量成蝶翔飛翅位的翅膀性質

因活體的成蝶不易進行測量，故以徐堉峰所著台灣蝴蝶圖鑑中的標本圖片，使用影印機將標本圖片，以放大縮小的方式，調整至與成蝶一致之等比例大小後加以測量。測量項目如下：

(一)測量前翅長：以直尺測量成蝶前翅翅基至翅端的長度。

(二)測量面積：以微量天平秤出翅膀的重量後，把翅膀重量除以 0.0083g(1 平方公分的重量)，就可得成蝶翔飛翅位的翅膀面積。

(三)計算展弦比：運用公式  $AR = \frac{b^2}{s}$ 。在本研究中，AR 為成蝶翔飛翅位之展弦比，b 為前翅長，s 為成蝶翔飛翅位之面積。將前翅長平方除以面積，即可算出展弦比。

## 五、製作蝴蝶飛行器

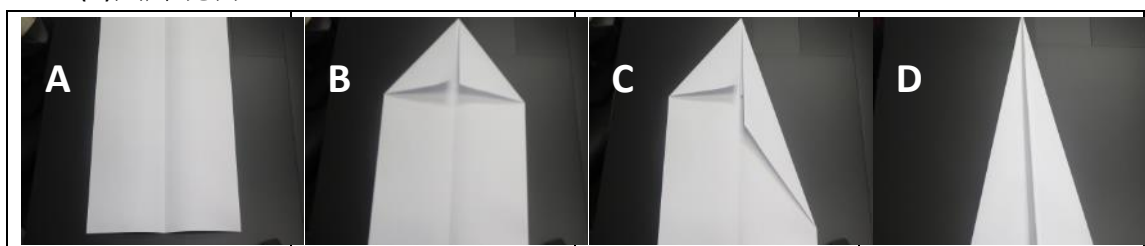
依下列(一)~(七)之步驟研製蝴蝶飛行器。

(一)製作蝴蝶飛行器的機頭與機身：以傳統紙飛機的構造製作蝴蝶飛行器的機頭與機身，方法如下。

### 1.傳統紙飛機折法

(1)文字說明：A 寬邊對折後打開。B 兩個角折到中線。C 兩個邊再往中線折。D 折出機翼。

(2)圖片說明



2.拆解傳統紙飛機做為蝴蝶飛行器的機頭與機身，方法如下：

零件名稱	來源	圖片說明
蝴蝶飛行器 機頭	傳統紙飛機 機頭	
蝴蝶飛行器 機身	傳統紙飛機 機身	

(二)繪製蝴蝶飛行器機頭與機身之平面圖

(三)組合蝴蝶飛行器的機頭與機身

(四)製作蝴蝶飛行器的上、下翅膀

(五)結合蝴蝶飛行器的機頭機身與翅膀

(六)繪製蝴蝶飛行器之平面圖

(七)組合蝴蝶飛行器

六、建立蝴蝶飛行器的翔飛實驗資料

(一)測量方式：將蝴蝶飛行器從一樓高(約 3 公尺)的廊道或走廊往前擲射。

(二)測量項度：

1.滯空時間：模擬成蝶翔飛能力，以碼錶計時，單位為秒。

2.滯空成功率：模擬成蝶翔飛抗風性，以百分比呈現。

(三)資料處理：指定種別的蝴蝶飛行器製作 5 台，依序擲射，依實驗設計擲射 20 次-50 次，記錄滯空時間及成功率，並以平均數、百分比之資料做為該種別蝴蝶飛行器的飛行數據。

## 伍、研究歷程與工具

本文以探究歷程及其使用的工具說明如下：

步驟	探究歷程	使用工具	備註
一	製作成蝶翔飛標本	成蝶、培養皿、酒精、保麗龍板、昆蟲標本針	以琉球青斑蝶為標本
二	翔飛標本飛行實驗	碼錶	
三	測量成蝶翅膀性質	圖鑑、微量電子秤	
四	製作成蝶飛行器	圖鑑、80 磅 A4 紙、剪刀	
五	建立蝴蝶飛行器的翔飛實驗資料	碼錶、風速儀、記錄表	
六	比較翅形結構	透明片	

## 陸、研究歷程與結果

### 一、建立成蝶滑翔的翅位法則

#### (一)透過生態觀察蒐集成蝶滑翔翅位的照片

我們在 110 年 9-11 月於跑馬古道進行自然生態觀察，同時，使用相機拍下成蝶滑翔的翅位，再比較、分析相片，有以下 3 點發現，茲以相片說明。

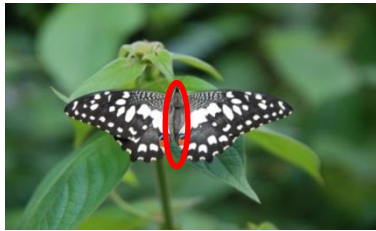
#### 1.成蝶上翅有 3 種形態

前翅長與胸部夾角 $>90^\circ$	
前翅長與胸部夾角 $=90^\circ$	
前翅長與胸部夾角 $<90^\circ$	

2.上翅與下翅有交疊的區域






3.下翅緊貼腹部



(二)製作標本進行飛行實驗

1.製做標本

依據生態觀察蒐集成蝶滑翔的翅位，我們製做標本如下：

<p>標本 A</p> <p>前翅長與胸部夾角<math>&gt;90^\circ</math></p> <p>上翅與下翅有交疊的區域</p> <p>下翅緊貼腹部</p>	
<p>標本 B</p> <p>前翅長與胸部夾角<math>=90^\circ</math></p> <p>上翅與下翅有交疊的區域</p> <p>下翅緊貼腹部</p>	
<p>標本 C</p> <p>前翅長與胸部夾角<math>&lt;90^\circ</math></p> <p>上翅與下翅有交疊的區域</p> <p>下翅緊貼腹部</p>	



## 2. 標本飛行實驗

我們將以上三種翅位的標本製做好後，放置陰涼處風乾，約 2 星期後，標本翅位固定，便進行標本飛行實驗。

將標本從教室大樓一樓(高度約 3 公尺)平放，風速：0.1-0.3m/s，測量標本 A、B、C 的滯空時間及觀察標本在空中的狀態，其結果如下：

標本名稱	標本 A	標本 B	標本 C
空中狀態			
滯空時間(秒)	3.10	12.77	2.46
在空中的狀態	由上旋轉而下。	隨著氣流由上而下滑翔，有迴旋，也有直線移動的情形。	筆直落下。

由標本飛行實驗可知，標本 B 滯空時間最久，且在空中的狀態具有滑翔的情形。因此我們以標本 B 為本研究成蝶滑翔的翅位，即：前翅長與胸部夾角呈 90 度、上翅下緣與下翅前緣交疊且上翅在上方，下翅在下方、下翅後緣緊貼腹部。

(三)小結：

- 透過蒐集、比較、分析成蝶的生態照片，再製做標本進行飛行實驗，根據實驗結果，本研究建立成蝶滑翔的翅位法則為：前翅長與胸部夾角呈 90 度、上翅下緣與下翅前緣交疊且上翅在上方，下翅在下方、下翅後緣緊貼腹部。

## 二、測量並描述成蝶翔飛翅位之前翅長、面積、展弦比

我們想知道成蝶的前翅長、面積、展弦比等性質與其翔飛特性的關係。於是以前以徐堉峰所著台灣蝴蝶圖鑑中的標本圖片，使用影印機將標本圖片，以放大縮小的方式，調整至與成蝶一致之等比例後，加以測量。

(一)成蝶前翅長：經觀察，具翔飛行為的蝶種有鳳蝶科，如大鳳蝶、黑鳳蝶等；及蛺蝶科如青斑蝶、紫斑蝶、三線蝶等成蝶，故本研究以大鳳蝶、青斑蝶、紫斑蝶、三線蝶為探究對象，其前翅長如下表。

不同蝶種的前翅長(單位：公分)			
大鳳蝶	青斑蝶	紫斑蝶	三線蝶
16.6	13	9.6	7.6

(二)成蝶翔飛翅位的翅膀面積：

1. 運用影印圖鑑的標本圖片，將上翅與下翅調整至翔飛的翅位，如下圖



2.再把翔飛翅位的翅膀剪下後放置微量天平秤重,如下圖。得知翅膀重量後,把翅膀重量除以 0.0083g(1 平方公分的重量),就可得成蝶翔飛翅位的翅膀面積。



如上述方法,大鳳蝶、青斑蝶、紫斑蝶、台灣三線蝶翔飛翅位的翅膀面積,如下表。

不同蝶種翔飛翅位的翅膀面積(單位：平方公分)				
蝶名	大鳳蝶	青斑蝶	紫斑蝶	台灣三線蝶
面積				
平方公分	67.46	38.55	21.68	14.25

(三)成蝶翔飛翅位之展弦比：

運用展弦比公式  $AR = \frac{b^2}{s}$ 。在本研究中,AR 為成蝶翔飛翅位之展弦比,b 為前翅長,s 為成蝶翔飛翅位之面積。

依據上述公式算出成蝶翔飛翅位之展弦比,如下表。

不同蝶種翔飛翅位的展弦比			
大鳳蝶	青斑蝶	紫斑蝶	台灣三線蝶
4.08	4.38	4.25	4.05

**小結：**

- 大鳳蝶、青斑蝶、紫斑蝶、三線蝶的前翅長、翔飛翅位之面積及展弦比等性質,整理如下表。




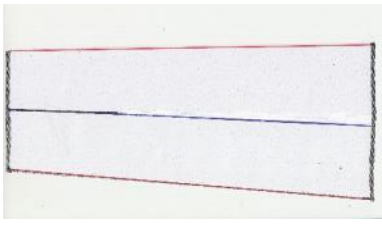
蝶名	大鳳蝶	青斑蝶	紫斑蝶	三線蝶
翅性				
前翅長(公分)	16.6	13	9.6	7.6
翔飛翅位 翅膀面積	67.46	38.55	21.68	14.25
翔飛翅位 之展弦比	4.08	4.38	4.25	4.05

- 由上表得知：  
成蝶的前翅長、翅膀面積與體型有關。體型越大，如大鳳蝶、青斑蝶等，前翅長較長，翅膀面積也較大；體型越小，如小紫斑蝶、三線蝶，前翅長較短，面積也較小。
- 本研究對象大鳳蝶、青斑蝶、小紫斑蝶、三線蝶等，經生態觀察都有翔飛的行為，因此可知，成蝶展弦比在 4.00 具有翔飛的能力。

### 三、研製翔飛翅位的蝴蝶飛行器

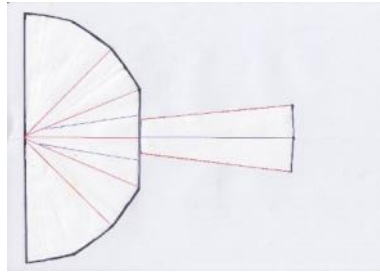
#### (一)製作蝴蝶飛行器的機頭與機身

以傳統紙飛機的構造製作蝴蝶飛行器的機頭與機身，將傳統紙飛機折好後，拆解紙飛機做為蝴蝶飛行器的機頭與機身，方法如下：

零件名稱	來源	圖片說明	結構圖
蝴蝶飛行器 機頭	傳統紙飛機 機頭		
蝴蝶飛行器 機身	傳統紙飛機 機身		

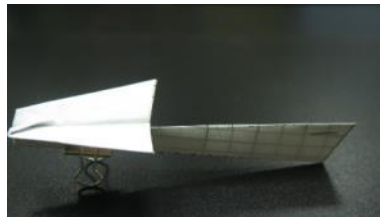
#### (二)蝴蝶飛行器機頭與機身之平面圖

將上述蝴蝶飛行器機頭、機身結構圖描繪到 A4 紙張，即為本研究蝴蝶飛行器機頭、機身平面圖，如下圖所示。黑色代表切線。紅色代表山線。藍色代表谷線。



### (三)組合蝴蝶飛行器的機頭與機身

如上述，將蝴蝶飛行器的機頭與機身折好後，使用口紅膠黏合。組合後如下圖：



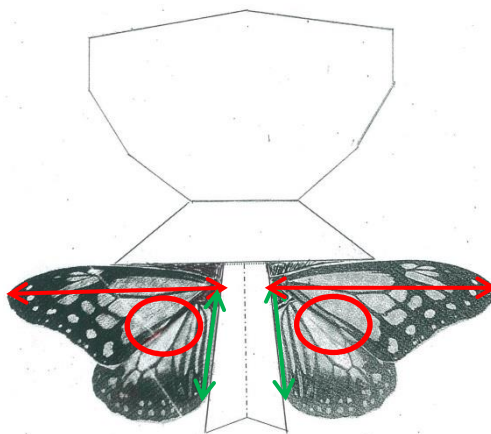
### (四)製作蝴蝶飛行器的上、下翅膀

我們在跑馬古道的成蝶自然生態觀察過程中發現，鳳蝶科、青斑蝶、紫斑蝶、三線蝶有翔飛的行為。故本研究之蝴蝶飛行器就以大鳳蝶、青斑蝶、小紫斑蝶、台灣三線蝶為研究對象。運用徐堉峰所著台灣蝴蝶圖鑑中的標本圖片，使用影印機將標本圖片，以放大的方式，調整至與成蝶之前翅長等長之比例印出後剪下。

### (五)結合蝴蝶飛行器的機頭機身與翅膀

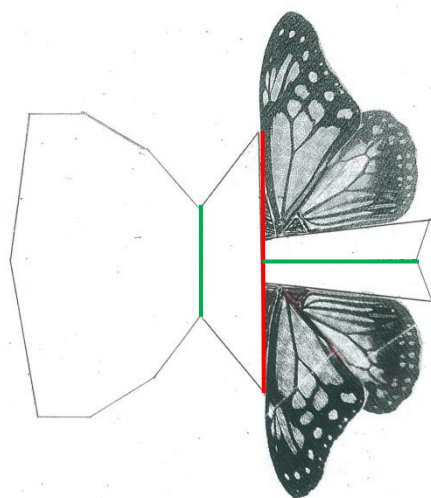
以蝴蝶翔飛之翅位，與蝴蝶飛行器的機身加以結合，方法如下：

- 1.前翅長垂直於上機身，如圖所示的紅色箭頭。
- 2.前翅與後翅有交疊，前翅在上，後翅在下。如圖所示紅色圈圈處。
- 3.下翅內緣貼緊機身，如圖所示的綠色箭頭。



### (六)蝴蝶飛行器之平面圖

依上述將成蝶之上、下翅與蝴蝶飛行器的機頭、機身結合後，平面圖如下圖所示：



黑色代表切線。紅色代表山線。綠色代表谷線。

### (七)組合蝴蝶飛行器

依平面圖之切線、山線、谷線所示，將蝴蝶飛行器折好組合後，蝴蝶飛行器如下圖，以寬尾鳳蝶蝴蝶飛行器為例：

蝶種名	飛行器模型	
青斑蝶 蝴蝶飛行器		
	前視圖	後視圖

## 四、運用蝴蝶飛行器滯空時間模擬成蝶翔飛的能力

### (一)陳述蝴蝶飛行器模擬成蝶翔飛之狀態

我們想要了解研究對象(蝶種)是否具有翔飛行為，所以運用上述的蝴蝶蝶飛行器分別為大鳳蝶、青斑蝶、紫斑蝶、台灣三線蝶等 4 種，測量飛行器的滯空時間及成功率，進行模擬研究對象(蝶種)翔飛的飛行實驗，風速 0.1-0.3m/s，結果如下：

飛行器種別		大鳳蝶	青斑蝶	紫斑蝶	台灣三線蝶
次別	滯空時間(秒)				
1		10.90	5.09	6.11	(翻落)2.33
2		7.68	3.98	4.92	4.22
3		(墜落)1.39	6.60	5.83	(翻落)2.40
4		8.36	6.58	6.39	(翻落)1.99

5	7.77	4.48	4.09	(翻落)2.60
6	12.03	7.96	6.09	5.29
7	7.88	12.18	5.36	(翻落)1.88
8	8.77	7.50	(墜落)2.42	(翻落)2.65
9	7.49	(翻落)2.02	4.28	(翻落)1.30
10	(翻落)3.86	3.68	(翻落)2.37	(墜落)2.48
11	8.11	6.60	5.66	(翻落)2.71
12	(翻落)3.20	(墜落)1.83	6.11	(墜落)1.30
13	6.90	10.66	5.73	(翻落)2.92
14	5.51	4.78	7.51	(翻落)2.44
15	5.88	12.91	9.10	2.62
16	10.90	6.84	(墜落)2.52	2.27
17	5.78	6.18	6.25	(翻落)2.12
18	8.97	5.16	5.71	(翻落)2.90
19	(翻落)2.21	6.27	7.85	3.38
20	7.49	4.83	7.79	3.90
滯空平均時間	7.073	6.430	6.107	2.75
滯空成功率	80%	90%	85%	30%

飛行實驗過程中，我們發現，蝴蝶飛行器擲出後有以下情形不具有滯空狀態。

墜落：蝴蝶飛行器擲出後，筆直落下，不具有滯空狀態。

翻落：蝴蝶飛行器擲出後，依重心翻轉落下，不具有滯空狀態。

根據實驗結果，我們以飛行器滯空時間模擬成蝶翔飛狀態如下：

依滯空時間長短排序，大鳳蝶(7.073 秒)最長、其次是青斑蝶(6.430 秒)、第三為紫斑蝶(6.107 秒)，最後是台灣三線蝶(2.75 秒)。

(二) 分析成蝶翔飛行為所具備的翅膀性質之一

根據展弦比文獻所述，展弦比越高，翔能力較佳。因此，本研究根據蝴蝶飛行器滯空時間模擬研究對象(蝶種)翔飛的實驗結果，再以成蝶翔飛翅位之展弦比分析成蝶翔飛行為的翅膀性質，故將資料整合如下表：

蝶名	大鳳蝶	青斑蝶	小紫斑蝶	台灣三線蝶
翅性性質				
前翅長(公分)	16.6	13	9.6	7.6
翔飛翅位 翅膀面積	67.46	38.55	21.68	14.25
翔飛翅位 之展弦比	4.08	4.38	4.25	4.05
滯空 平均時間(秒)	7.073	6.430	6.107	2.75

在蝴蝶飛行器滯空時間模擬成蝶翔飛過程中，我們有以下發現：

台灣三線蝶展弦比高，但飛行器滯空時間短且成功率低。從自然生態的觀察中，台灣三線蝶拍合翅膀後，就把翅膀呈水平翔飛，但翔飛的時間不長。台灣三線蝶飛行器的飛行實驗結果也呈現出這種特性，因此，我們判斷：三線蝶屬的蝴蝶雖然可以翔飛，但無法長距離遷徙，不是我們要尋找的翅膀特性，故本研究不再繼續討論。

#### 小結：

- 展弦比越高，如本研究的大鳳蝶、青斑蝶及紫斑蝶，其飛行器滯空時間也相對較長；因此，從本研究的實驗結果可得到驗證：展弦比高，翔飛能力好，如大鳳蝶、青斑蝶及紫斑蝶。

### 五、成蝶翔飛風速\_抗風性飛行實驗

在上一節的飛行實驗中，我們發現大鳳蝶、青斑蝶、紫斑蝶飛行器的平均滯空時間都可以達 6 秒以上且大鳳蝶最佳，青斑蝶、紫斑蝶次之。可是滯空成功率卻是青斑蝶、紫斑蝶優於大鳳蝶。我們很好奇，為什麼研究蝶種在滯空時間、滯空成功率的表現會有差異。於是我們設計以下實驗，希望可以找到答案。

進行第一個實驗時，我們觀察到風速、風向會影響蝴蝶飛行器的飛行，風速太強飛行器會翻落，同理可證，翔飛的成蝶也會被吹翻或吹落。所以，我們將風速列為實驗變項，並運用 1：1 蝴蝶飛行器，進行滯空時間及成功率飛行實驗，模擬研究蝶種(大鳳蝶、青斑蝶、紫斑蝶)翔飛時的風速\_抗風性。

我們是在戶外進行翔飛實驗，而大自然是一座風場，風向、風速會改變飛行器的飛行方向或使之失速墜落。我們無法預測風向、風速，就好像成蝶不可能知道風的來向，只能順著風滑翔或失速墜落。雖然實驗的資料會因為風向、風速無法控制而失準，可是這就是大自然真實的樣貌。而我們因應的方法就是提高擲射的次數(50 次)使資料更準確。

#### (一)風速\_抗風性實驗

1 風速 0.3~1.2m/s，實驗結果如下表：

飛行器種別		大鳳蝶	青斑蝶	小紫斑蝶
次別	滯空時間 (秒)			
滯空平均時間		7.18	6.39	6.14
滯空成功率		88%	94%	90%

風速 0.3~1.2m/s 時，以蝴蝶飛行器滯空時間模擬研究蝶種的翔飛能力，其順序為大鳳蝶、青斑蝶、紫斑蝶。以滯空成功率模擬抗風性，青斑蝶、紫斑蝶略優於大鳳蝶。

2.風速 1.3~3.0m/s，實驗結果如下表：

飛行器種別		大鳳蝶	青斑蝶	小紫斑蝶
次別	滯空時間 (秒)			
滯空平均時間		4.45	5.60	5.03
滯空成功率		78%	90%	86%

風速 1.3~3.0m/s，青斑蝶和紫斑蝶的翔飛能力、抗風性均優於大鳳蝶。

(二)分析成蝶翔飛行為所具備的翅膀性質之二

在自然生態中，鳳蝶科之成蝶，體型較大，翅膀面積相對也較大，因前翅長較長，故展弦比高。從大鳳蝶飛行器飛行實驗可知，風速 0.3~1.2m/s 時，大鳳蝶的翔飛能力及抗風性均佳。當風速提高 1.3~3.0m/s 時，我們觀察到大鳳蝶飛行器因翅膀面積太大，一擲出就被風吹的翻落。因此，我們判斷：鳳蝶科的成蝶雖然翔飛能力佳但抗風性低，無法長距離遷徙，不是我們要尋找的翅膀特性，故本研究不再繼續討論。

另外，我們觀察青斑蝶、紫斑蝶翔飛翅位發現，下翅面積的占比明顯比大鳳蝶小很多。因此，我們測量並計算上翅與下翅面積的比值發現：青斑蝶為 2，紫斑蝶 2.5，也就是說上翅面積是下翅面積的 2 倍以上，在風速提高其成蝶抗風能力最佳。

本研究根據蝴蝶飛行器滯空成功率模擬研究對象(蝶種)的風速\_抗風性，再以成蝶翔飛翅位分析成蝶翔飛行為的翅膀性質，故將資料整合如下表：

蝶名		大鳳蝶	青斑蝶	小紫斑蝶
翅膀性質				
前翅長(公分)		16.6	13	9.6
滑翔翅位翅膀面積		67.46	38.55	21.68
滑翔翅位之展弦比		4.08	4.38	4.25
滑翔翅位上下翅面積比值		1.7	2.2	2.6
風速 0.3~1.2m/s	滯空平均時間(秒)	7.18	6.39	6.14
	滯空成功率%	88%	94%	90%
風速 1.3~3.0m/s	滯空平均時間(秒)	4.45	5.60	5.03
	滯空成功率%	78%	90%	86%

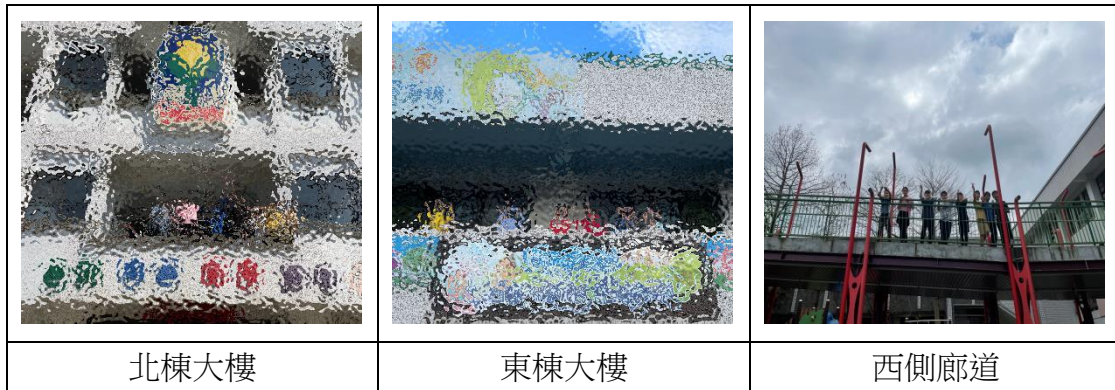
小結：

- 青斑蝶是青斑蝶屬(6 種)中體型最大的，而小紫斑蝶是紫斑蝶屬(4 種)中體型最小的。由實驗的結果推測，展弦比 4 以上，成蝶翔飛的翅膀面積 38~20 平方公分之間且上翅面積大於下翅面積 2 倍以上，翔飛能力佳且風速\_抗風性優。



## 六、成蝶翔飛風向\_抗風性飛行實驗

我們以校園戶外空間為實驗場地，校園的方位：座北朝南，呈U字形。每年1-3月固定吹東北風，我們在校園的北棟、東棟大樓、西側廊道投擲蝴蝶飛行器，以製造不同的風向，順風、側風、逆風等。模擬研究蝶種(青斑蝶、紫斑蝶)翔飛時的風向\_抗風性。



### (一)風向\_抗風性實驗

#### (1)風速 1.3~3.0m/s，風向順風

飛行器種別		青斑蝶	小紫斑蝶
次別	滯空時間 (秒)		
滯空平均時間		5.60	5.03
滯空成功率		90%	86%

#### (2)風速 1.3~3.0m/s，風向側風

飛行器種別		青斑蝶	小紫斑蝶
次別	滯空時間 (秒)		
滯空平均時間		5.38	4.92
滯空成功率		88%	82%

#### (3)風速 1.3~3.0m/s，風向逆風

飛行器種別		青斑蝶	小紫斑蝶
次別	滯空時間 (秒)		
滯空平均時間		4.61	3.73
滯空成功率		72%	58%

### (二)分析成蝶翔飛行為所具備的翅膀性質之三

除了成蝶翔飛展弦比、翅膀面積以外，我們觀察到成蝶的翅膀還有其他的性質，例如：青斑蝶屬的成蝶上翅外緣都有外凸的現象，以提高前翅長，增強風向抗風性又不會增加太多翅膀面積；而紫斑蝶屬的成蝶上翅外緣多數是圓弧形，和青斑蝶屬的上翅形態不同，如下圖。




	
<p>琉球青斑蝶上翅外緣都有外凸的現象。</p>	<p>小紫斑蝶上翅外緣是圓弧形。</p>

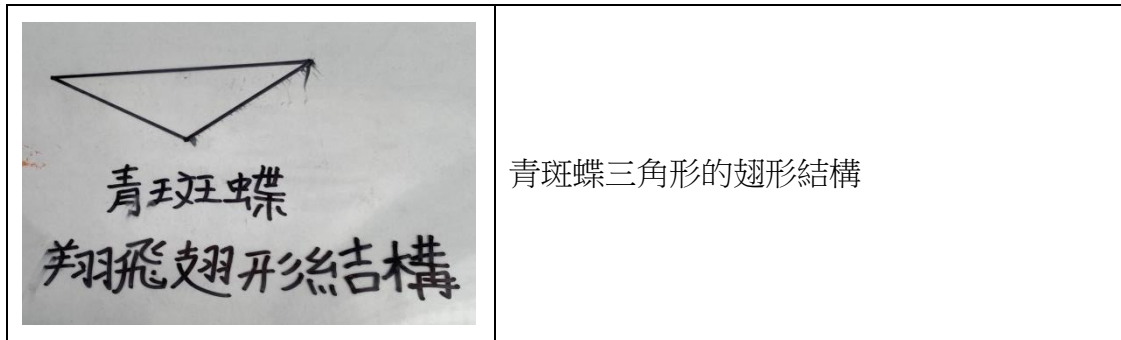
**小結：**

- 如以上風向\_抗風性飛行實驗結果可知，青斑蝶飛行器在順風、側風、逆風的抗風性能力均優於小紫斑蝶。尤其在逆風時，青斑蝶飛行器可以 180° 迴旋後再順著風向繼續飛行，令我們嘖嘖稱奇。在自然界的狀態中，青斑蝶是否也有這麼精采的演出，雖然沒有觀察到，不過，我們推測一定可以。

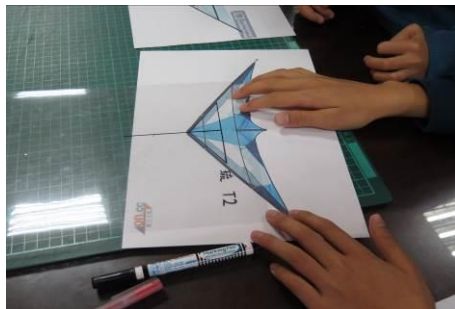
**七、發現青斑蝶翅形結構的特性**

對於青斑蝶的翔飛能力及抗風性，我們非常感興趣，因此，依下列步驟將青斑蝶翅形簡化為三角形。

	<p>將成蝶標本擺放至滑翔翅位後，找出成蝶標本前翅翅端，標記為點 A、點 A'；再找出成蝶標本左右兩翼下翅外緣交接點標記為點 B。</p>
	<p>測量線段 AA'(即為前翅長)、AB、A'B。</p>
	<p>在透明片上繪製線段 AA'、AB、A'B</p>



在網路上找到三角滑翔翼並列印出圖案，將透明片上繪製好的等腰三角形(簡化琉球青斑蝶翅形)，與三角滑翔翼比對。如下圖。



我們發現：兩者最大角的角度(即角 B)完全相同，經測量為 115 度。三角滑翔翼為無動力飛行器，是藉由空氣浮力滑翔，與青斑蝶屬成蝶滑翔的方式有異曲同工之妙。原來，人類早在 1984 年就師法自然，以此幾何圖形的結構特性製造三角滑翔翼，翱翔天際。

## 柒、結論

對於青斑蝶跨海翔飛的行為，我們很好奇很著迷，所以規劃一連串主題探究及飛行實驗，結論說明如下：

- 一、確定成蝶翔飛翅位法則
  - (一)前翅長垂直於中胸。
  - (二)上翅下緣與下翅前緣有部份重疊。
  - (三)下翅後緣緊貼腹部。

二、測量成蝶翔飛翅位的前翅長、面積、展弦比，資料如下：

蝶名	大鳳蝶	青斑蝶	小紫斑蝶	台灣三線蝶
翅勝性質				
前翅長(公分)	16.6	13	9.6	7.6
翔飛翅位 翅膀面積	67.46	38.55	21.68	14.25
翔飛翅位 之展弦比	4.08	4.38	4.25	4.05

### 三、製做蝴蝶飛行器模擬成蝶翔飛能力及抗風性

#### (一)飛行實驗一：飛行器滯空時間模擬成蝶翔飛能力

蝶名	大鳳蝶	青斑蝶	小紫斑蝶	台灣三線蝶
翅勝性質				
前翅長(公分)	16.6	13	9.6	7.6
翔飛翅位 翅勝面積	67.46	38.55	21.68	14.25
翔飛翅位 之展弦比	<u>4.08</u>	<u>4.38</u>	<u>4.25</u>	<u>4.05</u>
滯空 平均時間(秒)	7.073	6.430	6.107	2.75

#### ● 分析成蝶翔飛的翅勝性質之一

展弦比越高，如本研究的大鳳蝶、青斑蝶及紫斑蝶，其飛行器滯空時間也相對較長；因此，從本研究的實驗結果可得到驗證：展弦比高，翔飛能力好，如大鳳蝶、青斑蝶及紫斑蝶。

#### (二)風速\_抗風性飛行實驗二：飛行器滯空成功率模擬成蝶抗風性

蝶名		大鳳蝶	青斑蝶	小紫斑蝶
翅勝性質				
前翅長(公分)		16.6	13	9.6
滑翔翅位翅勝面積		<u>67.46</u>	<u>38.55</u>	<u>21.68</u>
滑翔翅位之展弦比		<u>4.08</u>	<u>4.38</u>	<u>4.25</u>
滑翔翅位上下翅 面積比值		<u>1.7</u>	<u>2.2</u>	<u>2.6</u>
風速 0.3~1.2m/s	滯空平均 時間(秒)	7.18	6.39	6.14
	滯空成 功率%	88%	94%	90%
風速 1.3~3.0m/s	滯空平均 時間(秒)	4.45	5.60	5.03
	滯空成 功率%	78%	90%	86%

#### ● 分析成蝶翔飛的翅勝性質之二

青斑蝶是青斑蝶屬(6種)中體型最大的，而小紫斑蝶是紫斑蝶屬(4種)中體型最小的。由實驗的結果推測，展弦比4以上，成蝶翔飛的翅勝面積38~20平方公分之間且上翅面積大於下翅面積2倍以上，翔飛能力佳且風速\_抗風性優。

(三)風向\_抗風性飛行實驗三：飛行器滯空成功率模擬成蝶抗風性

		蝶名	
		青斑蝶	小紫斑蝶
翅膀性質			
前翅長(公分)		13	9.6
滑翔翅位翅膀面積		<u>38.55</u>	<u>21.68</u>
滑翔翅位之展弦比		<u>4.38</u>	<u>4.25</u>
滑翔翅位上下翅面積比值		<u>2.2</u>	<u>2.6</u>
風速 1.3~3.0m/s	滯空平均時間(秒)	5.60	5.03
風向順風	滯空成功率%	90%	86%
風速 1.3~3.0m/s	滯空平均時間(秒)	5.38	4.92
風向側風	滯空成功率%	88%	82%
風速 1.3~3.0m/s	滯空平均時間(秒)	4.61	3.73
風向逆風	滯空成功率%	72%	58%

● 分析成蝶翔飛的翅膀性質之三

除了成蝶翔飛展弦比、翅膀面積以外，我們觀察到成蝶的翅膀還有其他的性質，例如：青斑蝶屬的成蝶上翅外緣都有外凸的現象，以提高前翅長，增強風向抗風性又不會增加太多翅膀面積；而紫斑蝶屬的成蝶上翅外緣多數是圓弧形，和青斑蝶屬的上翅形態不同，如下圖。



四、發現青斑蝶翔飛的翅形結構

將青斑蝶翅形簡化為三角形與三角滑翔翼比對，兩者最大角的角度完全相同，經測量為 115 度。三角滑翔翼為無動力飛行器，是藉由空氣浮力滑翔，與青斑蝶屬成蝶滑翔的方式有異曲同工之妙。

## 捌、總結

青斑蝶跨海翔飛之翅膀的性質，歸納如下：

- 一、前翅上緣外凸，增加前翅長的長度，也提高展弦比，展弦比 **4.38**。
- 二、翔飛翅膀面積適中 **38.55** 平方公分，且上翅面積為下翅面積的 **2.2** 倍。
- 三、翅形結構和三角翼滑翔翼完全吻合，兩者為全等三角形。

## 玖、建議

一、宜蘭縣礁溪跑馬古道是一處賞蝶的好地點，雖然沒有明星級的蝶種，但鳳蝶、粉蝶、蛺蝶、弄蝶、小灰蝶科，五科成員全員到齊，一應俱全。**10** 年多前，我們就開始在這裡做相關的調查和探究，蝴蝶生態資源豐富。近年來，跑馬古道成為熱門的健身步道，遊客多，商業行為頻繁，對環境破壞也隨之而來。我們觀察到，幾處賞蝶的熱點，因植被破壞或改植觀賞型植栽，蝶況不再，令人心痛。跑馬古道屬林務局管轄，希望能管理攤販，勿恣意破壞古道環境。

二、在規劃此次主題探究活動初期時，我們搜集許多蝴蝶相關書籍及文獻，發現絕大部份都是圖鑑，翅膀的性質或飛行行為的內容付之闕如，學校環境教育的推廣還是僅限於物種種名，相關單位應鼓勵研究動物的行為。

## 拾、參考資料

- 一、青斑蝶遷徙之謎 佐藤英治 追蹤作者 出版社：晨星
- 二、106 年度宜蘭縣科展說明書\_關於飛，蝴蝶教我的事
- 三、等待解謎的青斑 <https://e-info.org.tw/topic/butterfly/2004/bu04052701.htm>
- 四、青斑蝶的台日航線 <https://pansci.asia/archives/5882>

## 【評語】 080306

此研究目的在研究蝴蝶飛行行為與蝶翅的形態特徵之間的關係，利用比較不同種的蝴蝶翅形、位置、角度、展、展弦比等因子，進行不同的操作實驗設計。

同學企圖找出斑蝶翔飛的翅位法則，以蝴蝶展弦比來研究多種不同的蝴蝶飛行時的滯空時間及滯空成功率並製作成蝶翅膀模擬飛翔能力與抗風性，透過模擬蝴蝶飛行器的製作，以不同變項測試成蝶的抗風能力，探討為何青斑蝶有跨海飛翔能力，研究結果令人印象深刻。以下幾點建議提供給同學參考：

1. 受限於環境條件的不足，利用自製的模型做實驗時，在戶外風場不穩的環境下進行實驗是比較可惜的部分。建議可以嘗試進行簡易的風洞實驗，以探討各參數的影響，相信會很有幫助的。如，自然環境中的風速、風向雖無法掌握，但實驗中可以細分不同的風速對滯空時間的差異。
2. 實驗較不具生物性，試驗缺乏重複。標本飛行實驗 (p8) 只進行一次，結果可靠性堪慮。測量蝴蝶翅膀的展弦比，至少要測量 3 隻以上的成蝶後再平均以增加數據可信度。
3. 飛行器的質地與運作模式是否與真實蝴蝶相符，應有更多支持證據。

4. 實驗設計必須有對照組(例如抗風性實驗中以非蝶形飛行器做對照組，翅位觀察中以展弦比 $<4$ 是否翔飛)相比，才能依據實驗觀察找出成因，證實假說的成立，貼近科學真實性。
5. 實驗結果可以統計圖(長條圖、XY 分布圖....)呈現，更能表現出不同變項的差異，並以統計方法進行三種不同成蝶比較，使作品更具科學依據。
6. 引用參考的文獻太少，有加強的空間。



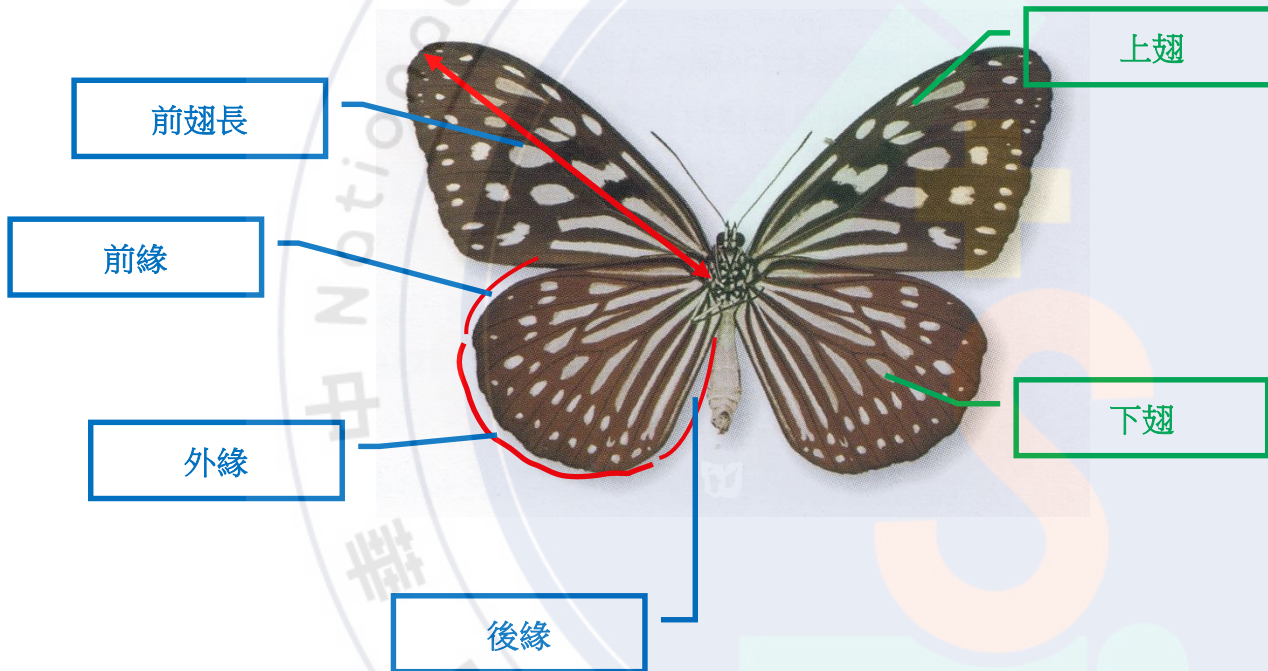
## 作品簡報



# 青斑蝶跨海翔飛 之翅膀的秘密

國 小 組  
生 物 科

# 文獻探討



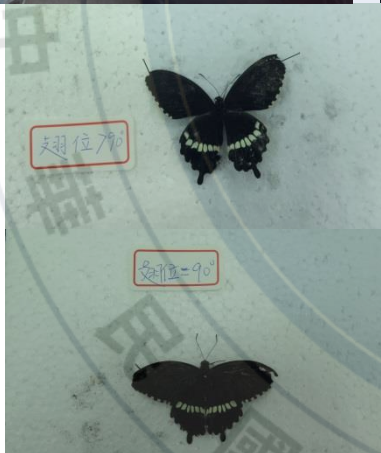
展弦比

$$AR = \frac{b^2}{S}$$

AR為展弦比，b為翼展長度，S為翼面積

# 研究目的與方法

## 一、建立成蝶翔飛的翅位法則



標本名稱	標本A	標本B	標本C
空中狀態			
滯空時間(秒)	3.10	12.77	2.46
在空中的狀態	由上旋轉而下。	隨著氣流由上而下滑翔，有迴旋，也有直線移動的情形。	筆直落下。

# 研究目的與方法

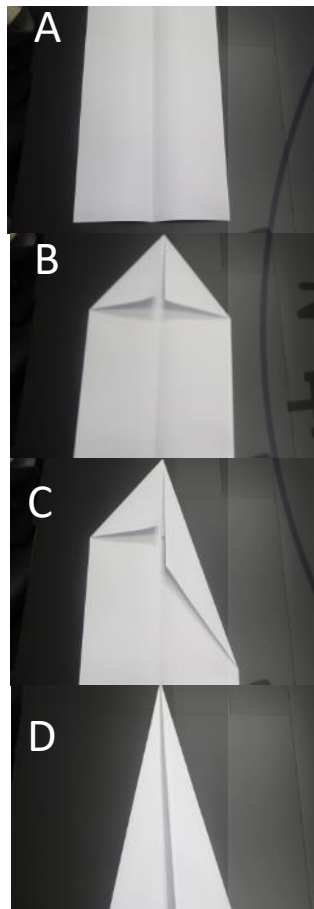
## 二、測量並描述成蝶翔飛翅位的前翅長、面積、展弦比



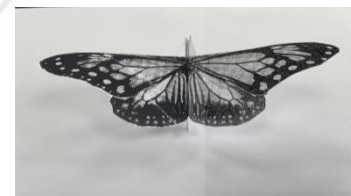
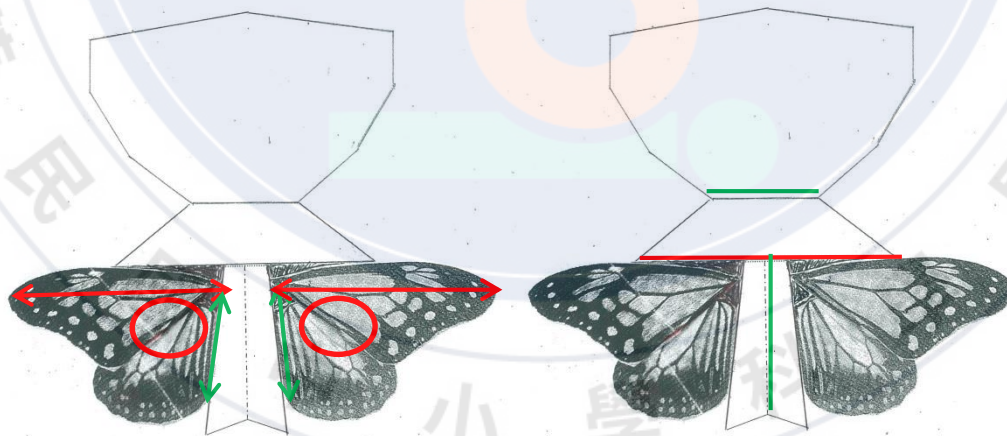
- (一)測量前翅長：以直尺測量成蝶前翅翅基至翅端的長度。
- (二)測量面積：以微量天平秤出翅膀的重量後，把翅膀重量除以0.0083g(1平方公分的重量)，就可得成蝶翔飛翅位的翅膀面積。
- (三)計算展弦比：運用公式 $AR = \frac{b^2}{s}$

# 研究目的與方法

## 三、研製1：1翔飛翅位的蝴蝶飛行器



零件名稱	來源	圖片說明	結構圖
蝴蝶飛行器 機頭	傳統紙飛機 機頭		
蝴蝶飛行器 機身	傳統紙飛機 機身		



# 研究目的與方法

## 四、運用蝴蝶飛行器滯空時間模擬成蝶翔飛能力

- (一)比較鳳蝶科、斑蝶科、蛺蝶科蝴蝶飛行器翔飛能力
- (二)分析成蝶翔飛行為的翅膀性質

## 五、運用蝴蝶飛行器滯空成功率模擬成蝶抗風性

- (一)比較青斑蝶、紫斑蝶飛行器的抗風能力
- (二)分析成蝶翔飛抗風性的翅膀性質

- **測量方式**：將蝴蝶飛行器從一樓高(約3公尺)的陽台往前擲射。
- **測量項度**：
  - 1.滯空時間：模擬成蝶滑翔能力，以碼錶計時，單位為秒。
  - 2.滯空成功率：模擬成蝶滑翔抗風性，以百分比呈現。
- **資料處理**：每一種科別的蝴蝶飛行器製作5台，依序擲射，依實驗設計擲射20次-50次，記錄滯空時間及成功率，並以平均數、百分比之資料做為該種別蝴蝶飛行器的飛行數據。

# 研究結果

## 一、建立成蝶翔飛的翅位法則

前翅長與胸部夾角 $>90^\circ$	
前翅長與胸部夾角 $=90^\circ$	
前翅長與胸部夾角 $<90^\circ$	



標本名稱	標本A	標本B	標本C
空中狀態			
滯空時間(秒)	3.10	12.77	2.46
在空中的狀態	由上旋轉而下。	隨著氣流由上而下滑翔，有迴旋，也有直線移動的情形。	筆直落下。

透過蒐集、比較、分析成蝶的生態照片，再製做標本進行飛行實驗，根據實驗結果，本研究建立成蝶滑翔的翅位法則為：

- (一)前翅長與胸部夾角呈90度
- (二)上翅下緣與下翅前緣交疊
- (三)下翅後緣緊貼腹部





# 研究結果

## 二、測量並描述成蝶翔飛翅位之前翅長、面積、展弦比



蝶名	大鳳蝶	青斑蝶	紫斑蝶	三線蝶
翅膀性質				
前翅長(公分)	16.6	13	9.6	7.6
翔飛翅位 翅膀面積	67.46	38.55	21.68	14.25
翔飛翅位 之展弦比	4.08	4.38	4.25	4.05

由上表得知：

成蝶的前翅長、翅膀面積與體型有關。體型越大，如大鳳蝶、青斑蝶等，前翅長較長，翅膀面積也較大；體型越小，如小紫斑蝶、三線蝶，前翅長較短，面積也較小。

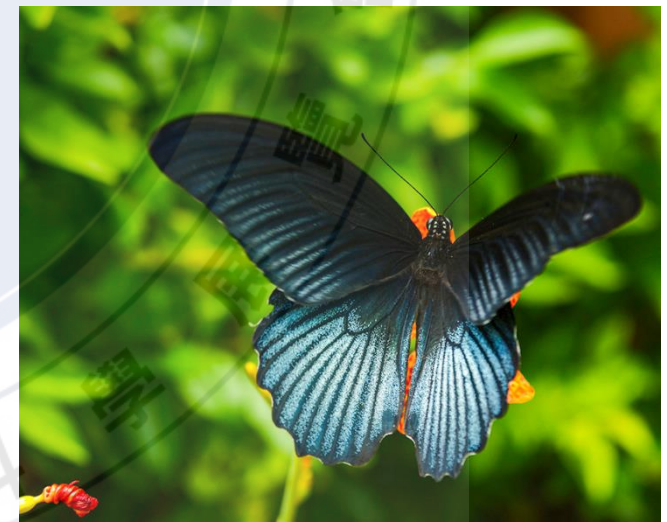
本研究對象大鳳蝶、青斑蝶、小紫斑蝶、三線蝶等，經生態觀察都有翔飛的行為，因此可知，成蝶展弦比在4.00具有翔飛的能力。



# 研究結果

## 四、運用蝴蝶飛行器滯空時間模擬成蝶翔飛的能力

蝶名	大鳳蝶	青斑蝶	小紫斑蝶	台灣三線蝶
翅膀性質				
前翅長(公分)	16.6	13	9.6	7.6
翔飛翅位 翅膀面積	67.46	38.55	21.68	14.25
翔飛翅位 之展弦比	4.08	4.38	4.25	4.05
滯空 平均時間(秒)	7.073	6.430	6.107	2.75



由上表可知：

展弦比越高，如本研究的大鳳蝶、青斑蝶及紫斑蝶，其飛行器滯空時間也相對較長；因此，從本研究的實驗結果可得到驗證：展弦比高，翔飛能力好，如大鳳蝶、青斑蝶及紫斑蝶。

# 研究結果

## 五、成蝶翔飛風速\_抗風性飛行實驗

蝶名		大鳳蝶	青斑蝶	小紫斑蝶
翅膀性質				
前翅長(公分)		16.6	13	9.6
滑翔翅位翅膀面積		67.46	38.55	21.68
滑翔翅位之展弦比		4.08	4.38	4.25
滑翔翅位上下翅面積比值		1.7	2.2	2.6
風速 0.3~1.2m/s	滯空平均時間(秒)	7.18	6.39	6.14
	滯空成功率%	88%	94%	90%
風速 1.3~3.0m/s	滯空平均時間(秒)	4.45	5.60	5.03
	滯空成功率%	78%	90%	86%



由實驗的結果推測，  
**展弦比4以上，成蝶翔飛的翅膀面積38~20平方公分之間且上翅面積大於下翅面積2倍以上，翔飛能力佳且風速\_抗風性優。**

# 研究結果

## 六、成蝶翔飛風向\_抗風性飛行實驗

(1)風速 1.3~3.0m/s，風向順風

飛行器種別		青斑蝶	小紫斑蝶
次別	滯空時間 (秒)		
滯空平均時間		5.60	5.03
滯空成功率		90%	86%

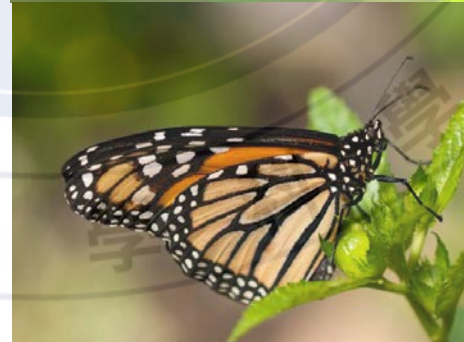
(2)風速 1.3~3.0m/s，風向側風

飛行器種別		青斑蝶	小紫斑蝶
次別	滯空時間 (秒)		
滯空平均時間		5.38	4.92
滯空成功率		88%	82%

(3)風速 1.3~3.0m/s，風向逆風

飛行器種別		青斑蝶	小紫斑蝶
次別	滯空時間 (秒)		
滯空平均時間		4.61	3.73
滯空成功率		72%	58%

我們觀察到成蝶的翅膀還有其他的性質，例如：**青斑蝶屬的成蝶上翅外緣都有外凸的現象，以提高前翅長，增強風向抗風性又不會增加太多翅膀面積**；而紫斑蝶屬的成蝶上翅外緣多數是圓弧形，和青斑蝶屬的上翅形態不同。



圖片出處

<https://e-info.org.tw/node/97731>

# 總結

青斑蝶跨海翔飛之翅膀的性質，歸納如下：

- 前翅長垂直胸部；翅下緣與下翅前緣交疊；下翅後緣緊貼腹部。
- 前翅上緣外凸，增加前翅長的長度，也提高展弦比，展弦比**4.38**。
- 翔飛翅膀面積適中**38.55**平方公分，且上翅面積為下翅面積的**2.2**倍。
- 翅形結構和三角翼滑翔翼完全吻合，兩者為全等三角形。

# 參考資料

- 一、青斑蝶遷徙之謎 [佐藤英治](#) 出版社：[晨星](#)
- 二、台灣蝴蝶圖鑑(下)蛺蝶 徐堉峰 出版社：[晨星](#)
- 三、106年度宜蘭縣科展說明書\_關於飛，蝴蝶教我的事
- 四、等待解謎的青斑 <https://e-info.org.tw/topic/butterfly/2004/bu04052701.htm>
- 五、青斑蝶的台日航線 <https://pansci.asia/archives/5882>