

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物及地球科學科

第一名、最佳創意獎

031704

「蛹」「帶」生命

高雄市立五福國民中學

作者姓名：

國二 莊迪喬 國二 李岱勳

指導老師：

李正媚 陳富堅

摘要

昆蟲通常是環境最好的偵測器，今年 3 月 22 日上午 9:30 在雲林林內約有 60 萬隻紫斑蝶從觸口飛越過中山二高，歷時 4 小時後才慢慢消失在八卦山區。這個享譽國際的紫斑蝶遷移群對我們來說是代表檢驗台灣環境健康的一個正面指標。

一年來，我們飼養了大白斑蝶、紅珠鳳蝶、大鳳蝶、黑鳳蝶、玉帶鳳蝶，觀察其生活史，並改良拍攝方法，利用數位攝影將蝴蝶各時期的微妙演化拍攝下來做成完整紀錄，包含了幼蟲孵化出來吃第一頓餐、幼蟲結絲墊準備結蛹、來回吐絲約 15 次才完成絲帶的固著、然後脫殼成蛹、羽化成蝶等過程。更發現帶蛹似乎都會近似某種特定角度在樹枝上結蛹，而查閱文獻都沒有相關的研究。從自然界的觀察與測量發現多數帶蛹的蛹身與絲帶夾角均為 90° 、蛹身頭部常與地面平行的機率頗高，而且蝶蛹與樹枝的夾角大多介於 $20^\circ \sim 40^\circ$ 。於是自行設計測量器材進一步驗證：當蝶蛹與樹枝夾角為 30° 、蛹身與絲帶夾角為 90° 時絲帶的張力最小，和野外統計的結果不謀而合，而蝶蛹巧妙地運用此一原理來度過 12 天至 4 月不等的蛹期。我們再以物理方法尋找帶蛹的重心位置約在中央部位，絲帶張力約為蛹身重量的 80%。不禁令人讚嘆大自然的奧妙！

由其他攝影者拍攝之照片，均呈現絲帶與蛹身的夾角趨近於 90 度

以下圖片來源→<http://www.geocities.co.jp>



以下圖片翻拍來源→臺灣蝶圖鑑第一卷 徐堉峰著 臺灣省立鳳凰谷鳥園



<http://www.pteron-world.com/>

<http://www.crdc.gifu-u.ac.jp>



<http://cat-tail.milkcafe.to/garden/zukan/ageha.html>

<http://www.kfcivs.hlc.edu.tw/lib/hometown/butterfly/>
第一次研習心得.htm



<http://www.geo.ntnu.edu.tw/faculty/hchou/class/multimedia/final/s6/pap.htm>



壹、研究動機

走進高雄市的金獅湖公園放眼望見燦爛耀眼的百花爭相奪艷，再走進蝴蝶生態館，立刻被大型展示櫃所吸引。裡面有好多蛹與幼蟲，正瞥見其中一隻毛毛蟲正扭動身軀脫下最後一層皮蛻變成蛹。在一般的圖鑑中常可見各種蝴蝶的生活史，若不是對蝴蝶有一番見解的人，很難分辨或釐清眾多蝴蝶的特色。園區裡的工作人員熱心的向我們述說著多年飼養蝴蝶的有趣生活史。很幸運的，我們能和金獅湖的蝴蝶園區合作才得以一窺美麗的蝴蝶多樣性的世界，這麼好的蝴蝶生態園，激起我們想了解蝴蝶生態的興趣，進一步以實驗來探究美麗的昆蟲~蝴蝶。

貳、研究目的

【研究 I】蝴蝶生活史與形態觀察

- 一、飼養並觀察蝴蝶的生活史與習性。
- 二、探索蝴蝶各時期的微妙世界。

【研究 II】模擬蝶蛹在樹枝上的形態，設計一組簡易裝置探討蝶蛹夾角與張力的關係

- 三、探討樹枝上結蛹的角度與絲帶張力的關係。
- 四、探討樹枝傾斜的角度對絲帶張力的影響。
- 五、利用槓桿原理探討絲帶的實際張力與蛹身重量的關係。
- 六、模擬蝶蛹的重心位置與絲帶張力的關係。

參、研究設備及器材

顯微照相裝置、複式顯微鏡、數位攝影機、數位相機、電子天平、滑輪、彈簧秤、尼龍絲、游標尺、木板、有掛勾金屬橫桿、砝碼、量角器、培養皿、碼錶、釣魚線、尺、培養皿、電腦、影像擷取卡



顯微照相及攝影裝置



拍攝化蛹過程裝置



自製簡易測量裝置

肆、研究過程與結果

【研究 I】蝴蝶生活史與形態觀察

一、飼養並觀察蝴蝶的生活史與習性

(一)查閱文獻、野外實察及長時間飼養及觀察、測量，並拍照記錄。

1、實察地點：高雄金獅湖的蝴蝶園區(圖 1、圖 2)



圖 1 高雄金獅湖的蝴蝶園區



圖 2 蝴蝶園內蝴蝶滿天飛舞

2、蝴蝶的生活史(圖 3)

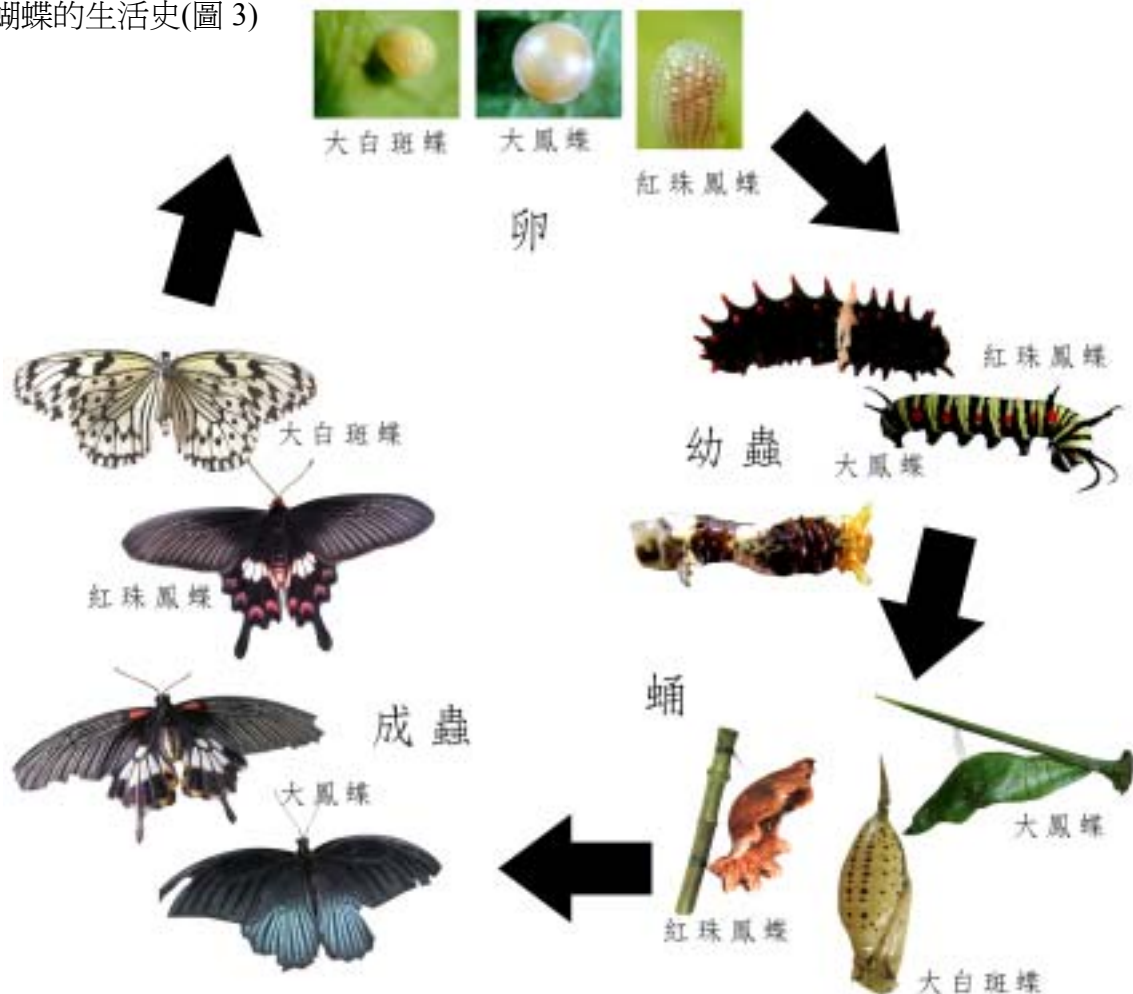


圖 3 蝴蝶的生活史

二、探索蝴蝶各時期的微妙世界

(一) 卵：



圖 4. 葉背上的卵



圖 5 大白斑蝶



圖 6 大鳳蝶

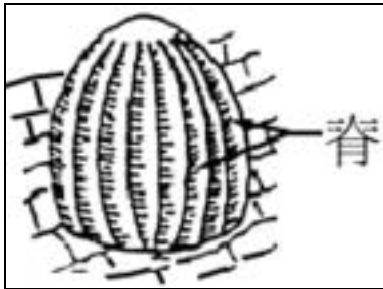


圖 7 手繪紅紋鳳蝶



圖 8 紅紋鳳蝶



- 1、雌蝶產卵時會以黏質分泌固著於產卵地點(寄主植物)，通常產於葉的背面(圖 4)可防止雨淋日曬和天敵捕食。產卵時大多單枚分散，有些種類則數枚相疊排列或集中成堆。
- 2、每種蝴蝶的形狀、大小、顏色和花紋均不相同(圖 5~8)，可由外觀分辨所屬科別。蝴蝶的卵都包覆著較硬的外殼以保護幼蟲。殼內襯著一層蠟，避免卵過度乾燥。殼上突起的叫脊(圖 7~8)，卵的頂端有一細小精孔，由此供應幼蟲胚胎發育所需的空氣和濕度。

(二) 幼蟲：(由金獅湖蝴蝶園區提供)



圖 9 大白斑蝶幼蟲咬破卵殼，並開始吃第一頓大餐

1、幼蟲的成長

大部分幼蟲會在孵化後先吃掉卵殼再開始吃樹葉，幼蟲成長過程中，會因身體長大而脫皮，過程是先脫頭皮再褪至尾部，通常約 4~6 次，脫皮後就成為不同齡的幼蟲(一齡~終齡)。

2、幼蟲構造主要分成：頭、胸及腹部(圖 10)。

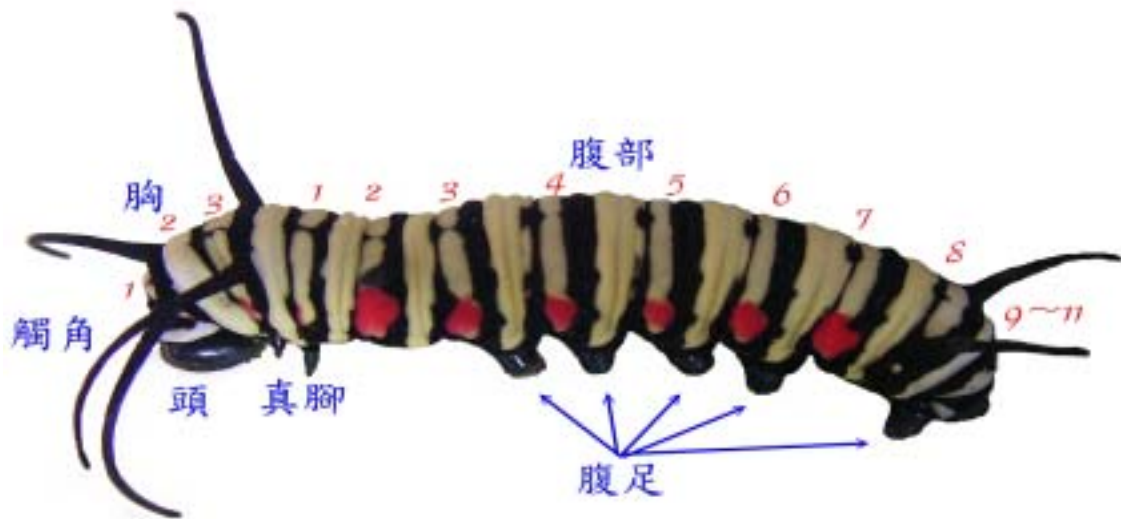


圖 10 幼蟲的構造

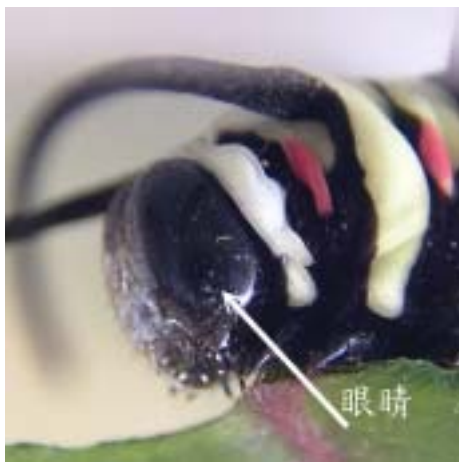


圖 11 頭包含一雙很短的觸鬚，六雙很簡單的眼睛。儘管有這麼多雙眼睛，毛毛蟲的視力可是很差的。觸鬚會幫助引導上顎將食物導入嘴巴

3、每一段胸部都有一雙真足(true legs)(圖 12)，腹部的則是腹足(prolegs) (圖 13)，通常有 5 對突起的肉質，其上有將幼蟲掛上絲墊或葉子的小勾勾。



圖 12 紅珠鳳蝶真足



圖 13 大白斑蝶幼蟲腹足的底部

4、幼蟲結蛹到羽化過程：利用攝影裝置拍攝並做成觀察紀錄表(表 1)

經過日期	時 間	(表 1) 觀 察 概 要
孵化後第 22 天	19:56:56	最後一次排便
	20:03:45	準備固定尾部，在尾端樹枝上繞圈吐絲
	20:07:43	不斷在樹枝上吐絲加強固定點，並利用真足協助
	20:31:00	轉身向上
	20:31:02	固定尾部，急速扭動身體，使臀棘鉤著於絲墊之上
	20:35:02	完成尾部固定，吐絲纏繞樹枝
	20:39:26	拉絲帶，來回約 15 次(1.5min/次)，共歷時約 24min
	21:03:07	頭部從側面絲帶下方鑽出，讓絲帶繞到背部，以後仰方式使絲帶滑落在真足與腹足之間
	21:03:52	加強絲帶在樹枝上的強度
	22:41:40	身體弓起，腹足無力，離開樹枝、以尾部固定身體
孵化後第 23 天	14:00:00	身體開始扭動，體色由綠色漸轉呈棕色(2hr)
	15:58:00	加速扭動，表皮從胸部背中線裂開，並往尾部褪去，以扭動方式脫皮(8.5min)
	16:06:24	扭動頻率減緩，頭部漸呈水平(2min)，暴露在外頭的蛹十分柔軟且脆弱，體壁逐漸收縮硬化
孵化後第 34 天	14:30:00	前一天蛹體轉呈深褐色，開始間歇性抖動
	16:54:15	羽化成蝶，腹部朝上，頭腳先伸出蛹，腳攀住樹枝拉出身
	16:54:15	以腳攀附在蛹或樹枝上，漸漸展開翅膀使之充血並晾乾
	17:31:25	身體排出體液
	18:10:05	可以展翅飛行

以黑鳳蝶為例 (影像擷取自拍攝的影片)

- (1)尋找結蛹地點：終齡幼蟲會來回尋找安全的地點，選定地點後頭朝上停留 1~2hr，排出最後糞便。
- (2)結絲墊：幼蟲轉身接近尾部不斷吐絲纏繞樹枝兩側，最後結成絲墊，約 0.5hr。
- (3)固定尾部：尾足不斷在絲墊上著力，使臀棘鉤著於絲墊之上，約 4~5min。(圖 14)



圖 14 找尋位置後完成絲墊，準備拉絲帶

(4)拉絲帶：先吐絲纏繞樹枝，4min 後由一側拉出第 1 條絲帶並將絲帶拉在胸前，再繞至樹枝另一側固定。左右來回約 15 次(1.5min/次)，共 24min。最後頭部由側邊絲帶下方鑽出，讓絲帶繞到背部並後仰調整絲帶落於真足與腹足間，完成絲帶支撐身體。(圖 15)



圖 15 拉絲帶 15 次後，頭部鑽入，大後仰使絲帶滑至真足、腹足之間

(5)脫皮成蛹：除尾部固著於樹枝外，其它部位均離開樹枝，身軀形成弓狀。體色逐漸轉呈棕色。約 17hr 後，身體開始扭動準備脫皮。再經過 2hr，身體扭動加劇，幼蟲表皮從背部中間裂開，蛹體不斷扭轉而使皮層迅速後移，褪至尾部末端時皮層脫落，歷時 8.5min。(圖 16、17)



圖 16 幼蟲腳脫離樹枝，成弓狀，體色變深。表皮從背部中間裂開，蛹體不斷扭轉而使皮層迅速下移脫離



圖 17 幼蟲脫離下來的表皮從背部中間裂開

(三) 蛹

1、多數蝶蛹以圓筒形與紡錘形較多。大致可分為(圖 18、19)



2、經野外統計與觀察(圖 20~23)：大多數鳳蝶(帶蛹)其頭部的側面突起常常與地面平行，而且蛹身多與絲帶垂直。

觀察現象一

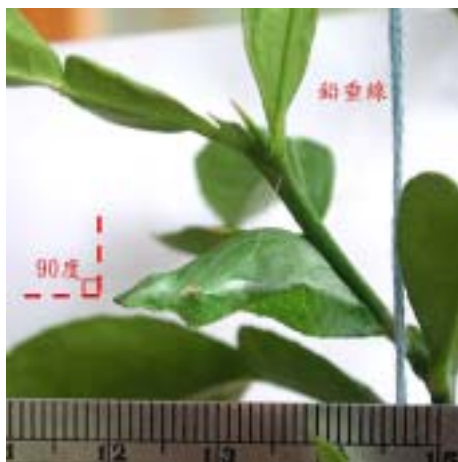


圖 20 多數帶蛹頭部的側面突起常與地面平行

觀察現象二



圖 21 多數蛹身與絲帶的夾角常呈垂直



圖 22 黑鳳蝶的蛹身與絲帶垂直



圖 23 紅珠鳳蝶蛹身與絲帶垂直

3、分辨大白斑蝶的性別：查閱文獻，第一環有一排成隊的黑點，第二環有一條線在延長後會分開這些點。有線的是雌的；無線的是雄的。(圖 24)

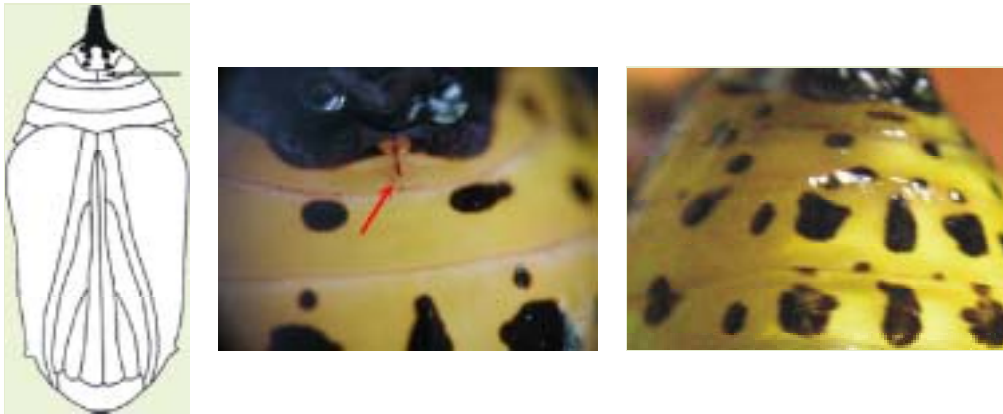


圖 24 辨別大白斑蝶之雌雄方法，中間雌蝶、右邊雄蝶

(四) 成蝶

1、依據拍攝蝶蛹羽化成蝴蝶的過程是：

(1)破蛹而出(圖 25)(擷取自拍攝的影片)



圖 25 蝴蝶出蛹時，腹部朝上，先伸出頭及腳，然後以腳攀附蛹體或樹枝，拉出身體

(2)伸展翅膀並晾乾及充血(圖 26)



圖 26 出蛹後，展開翅膀使之充血並晾乾

2、每種蝶蛹的出蛹方向不盡相同(圖 27)，但終極目標都是為使出蛹的蝴蝶可以伸展身軀拉出翅膀並充血；若未能及時使翅膀展開來晾乾，將無法順利飛行。(圖 28)

大白斑蝶	紅紋鳳蝶	大鳳蝶

圖 27 不同蝶類出蛹方向

剛出蛹的翅膀(柔軟)未充血	晾乾翅膀並充血	出蛹時未成功羽化

圖 28

【研究Ⅱ】模擬蝶蛹在樹枝上的形態，設計一組簡易裝置探討蝶蛹夾角與張力的關係

我們觀察並測量結在樹枝上的蛹與樹枝的夾角皆為銳角；而且蛹身與絲帶的夾角也都近乎垂直，這些現象是不是有什麼特殊的意義呢？於是我們設計一系列的實驗模擬蝶蛹與樹枝、絲帶的夾角作進一步的探討。

三、探討樹枝上結蛹的角度與絲帶張力的關係

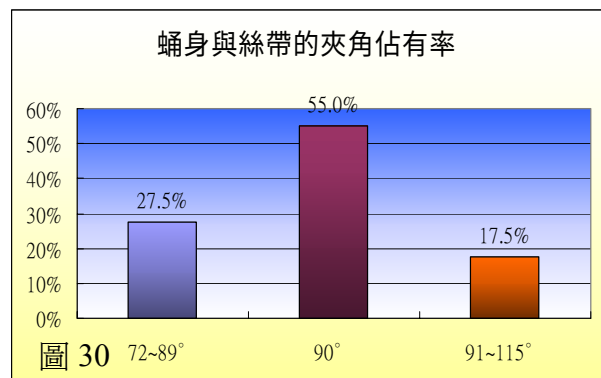
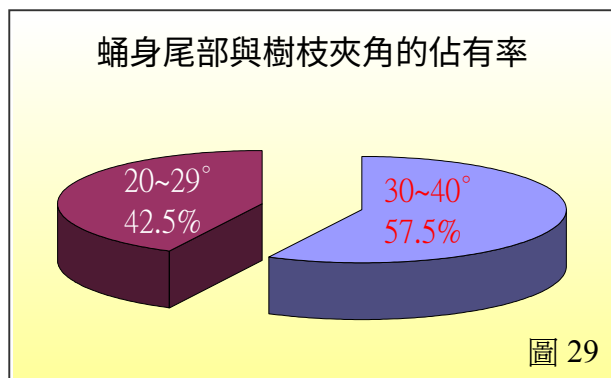
(一) 觀察

- 1、我們觀察樹枝上的帶蛹，發現蛹身尾部與樹枝均有一夾角存在，將觀察統計的結果記錄如下(表 2、3)：(樣本數：40 隻蛹)



表(2) 自然界中 θ_1 夾角機率	
蛹身尾部與樹枝的夾角 θ_1	佔有率
30°~40°	57.5%
20°~29°	42.5%

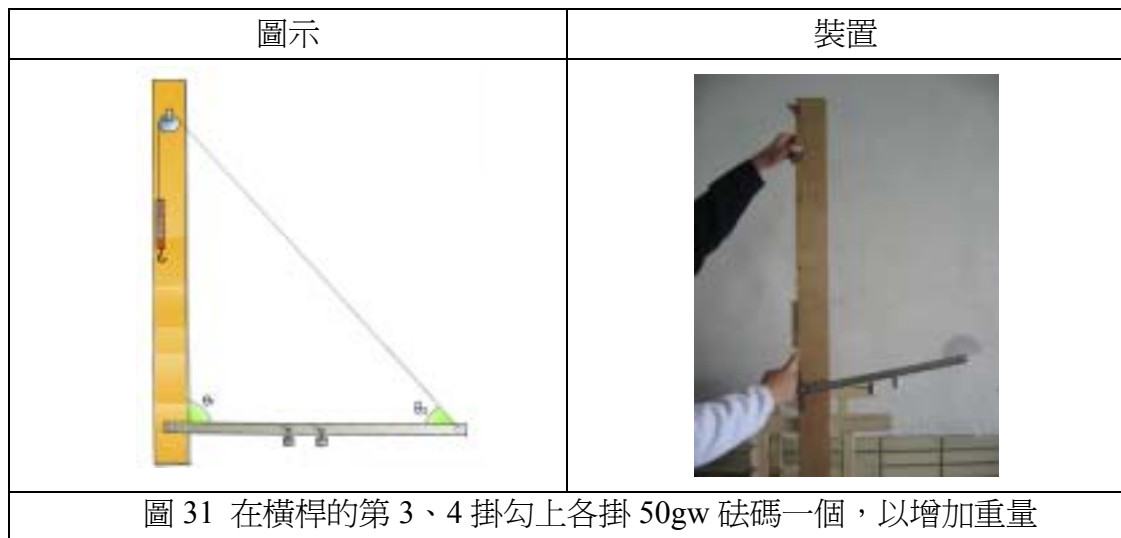
表(3) 自然界中 θ_2 夾角機率	
蛹身與絲帶的夾角 θ_2	佔有率
91°~115°	17.5%
90°	55%
72°~89°	27.5%



- 2、結在樹枝上的蛹身與樹枝夾角均介於 20°~40°之間，又以 30°~40°的比例居多。
- 3、蛹身與絲帶的夾角介於 72°~115°之間，又以夾角 90°佔最多。
- 4、蛹與樹枝及蛹與絲帶所形成的角度，似乎存在著微妙關係，也影響蛹身固定及以後羽化是否成功的重要關鍵。因此我們設計下列實驗來探索自然界的奧妙。

(二) 實驗步驟及方法

- 1、自行設計一組模擬帶蛹在樹枝上，且可方便測量相互間角度的裝置：以材質均勻的金屬橫桿模擬蝶蛹(第 3、4 掛勾上各掛 50gw 砝碼以增加重量)，橫桿一端固定於長木板上，另一端綁上尼龍絲繞過木板上方的滑輪，並綁上彈簧秤。以尼龍絲模擬絲帶、木板模擬樹枝，彈簧秤讀數即為尼龍絲的張力。橫桿兩端各固定一組量角器，將木板與橫桿之間的角度定為 θ_1 、橫桿與尼龍絲之間的角度定為 θ_2 。(圖 31)
- 2、實驗 A：固定 θ_1 ，沿著木板上下滑動滑輪、改變 θ_2 測量尼龍絲張力。
- 3、實驗 B：固定 θ_2 ，沿著木板上下滑動滑輪、改變 θ_1 測量尼龍絲張力。



(三) 結果與討論

1、 θ_1 固定，改變 θ_2 後所測量的尼龍絲張力變化(表 4、圖 32)

表(4) 固定 θ_1 ，改變 θ_2 以測量尼龍絲張力					
$\theta_1=30^\circ$		$\theta_1=40^\circ$		$\theta_1=50^\circ$	
θ_2	張力(gw)	θ_2	張力(gw)	θ_2	張力(gw)
125	55				
110	45	110	60		
100	35	100	55	97	70
90	30	90	50	90	65
80	40	80	60	80	70
70	40	70	60	70	75
60	45	60	65	60	80
50	50	50	75	50	90
40	65	40	85	40	105
30	80	30	120	30	145
20	125	20	170	20	175

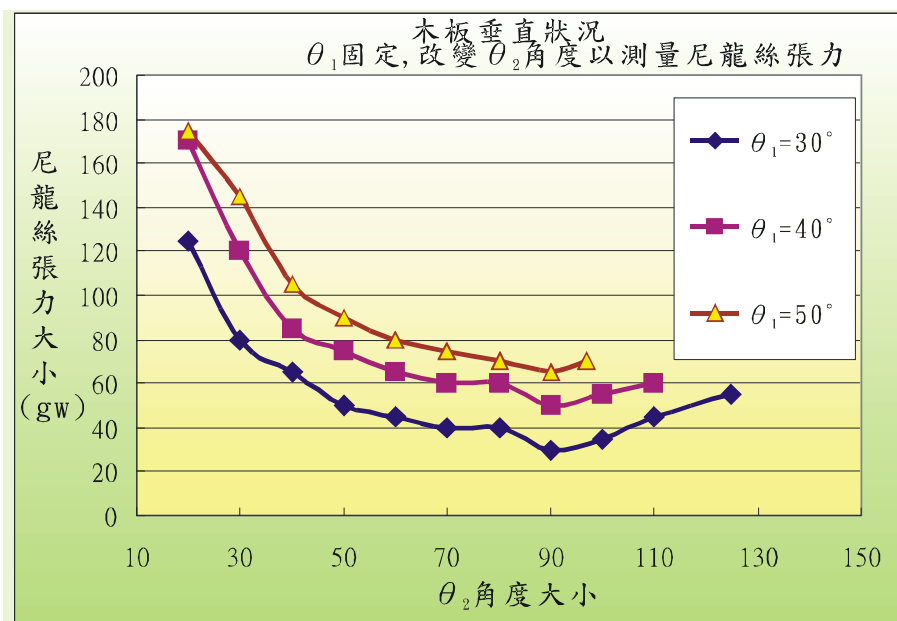


圖 32

2、由實驗得知：

- (1)當 $\theta_1=30^\circ$ 、 40° 、 50° ， $\theta_2=90^\circ$ 的張力均為最小，此角度恰是金屬橫桿與尼龍絲垂直。
- (2)對同角度 θ_2 而言， θ_1 角度愈大，張力也愈大。

3、 θ_2 固定，改變 θ_1 後所測量的尼龍絲張力變化(表 5、圖 33)

表(5) 固定 θ_2 ，改變 θ_1 以測量尼龍絲張力					
$\theta_2=30^\circ$		$\theta_2=40^\circ$		$\theta_2=50^\circ$	
θ_1	張力(gw)	θ_1	張力(gw)	θ_1	張力(gw)
133	145				
120	165				
110	175	112	125		
100	180	100	150	103	125
90	190	90	160	90	130
80	180	80	150	80	120
70	175	70	145	70	115
60	165	60	125	60	100
50	145	50	105	50	90
40	120	40	85	40	80
30	90	30	60	30	50

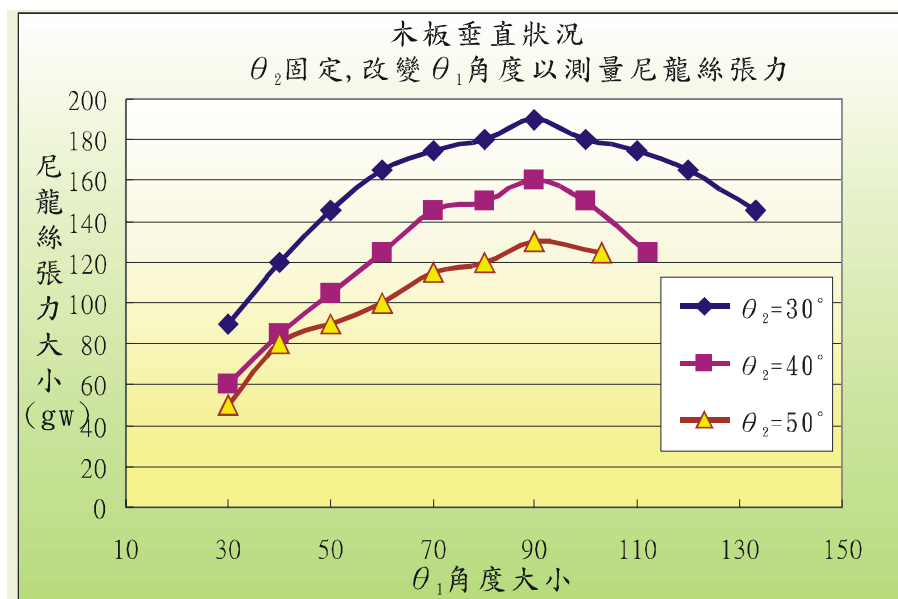


圖 33

- (1)當 $\theta_2=30^\circ$ 、 40° 、 50° ，均以 $\theta_1=90^\circ$ 的張力最大，此角度正是金屬橫桿與地面平行。
- (2)實驗中($\theta_2=30^\circ\sim 50^\circ$)對同角度 θ_1 而言， θ_2 角度愈大，張力則愈小。

- 4、從以上的數據可推論蛹、絲帶及樹枝之間奧妙的角度關係，即蛹身與絲帶的夾角(θ_2)在 90° 時的張力最小。蛹和樹枝的夾角(θ_1)小於 90° 時，尼龍絲張力則變小。這可以解釋為什麼自然界中蛹與絲帶的夾角 90° 最多，而蛹與樹枝的夾角均小於 90° 。
- 5、就槓桿原理，對同一點施力而言，施力方向與力臂垂直時最省力。蝶蛹似乎正巧妙的運用此原理來延續生命。

四、探討樹枝傾斜的角度對絲帶張力的影響

(一) 想法：在自然界中蛹所懸掛的樹枝並不與地面垂直，因此我們更進一步將前面實驗中的木板模擬自然界中樹枝與地面的各種角度，再次驗證以上推論。

(二) 實驗步驟及方法

1、將木板沿鉛垂線順時針傾斜 20° ，重複研究三的實驗 A。 (圖 34)

圖 34 將樹枝傾斜 20°	
圖示	裝置
	

2、將木板沿鉛垂線逆時針傾斜 20° ，重複三之實驗 B。 (圖 35)

圖 35 將樹枝傾斜 -20°	
圖示	裝置
	

(三)結果與討論

1、木板順時針傾斜 20° 及固定 θ_1 ，改變 θ_2 ，測量尼龍絲張力(表 6、圖 36)

表(6) 樹枝沿鉛垂線順時針傾斜 20°					
$\theta_1=30^\circ$		$\theta_1=40^\circ$		$\theta_1=50^\circ$	
θ_2	張力(gw)	θ_2	張力(gw)	θ_2	張力(gw)
122	95				
110	80	109	85		
100	70	100	80	98	95
90	65	90	75	90	85
80	70	80	80	80	95
70	80	70	85	70	95
60	85	60	90	60	100
50	95	50	115	50	115
40	105	40	120	40	145
30	155	30	160	30	180
20	220	20	255	20	260

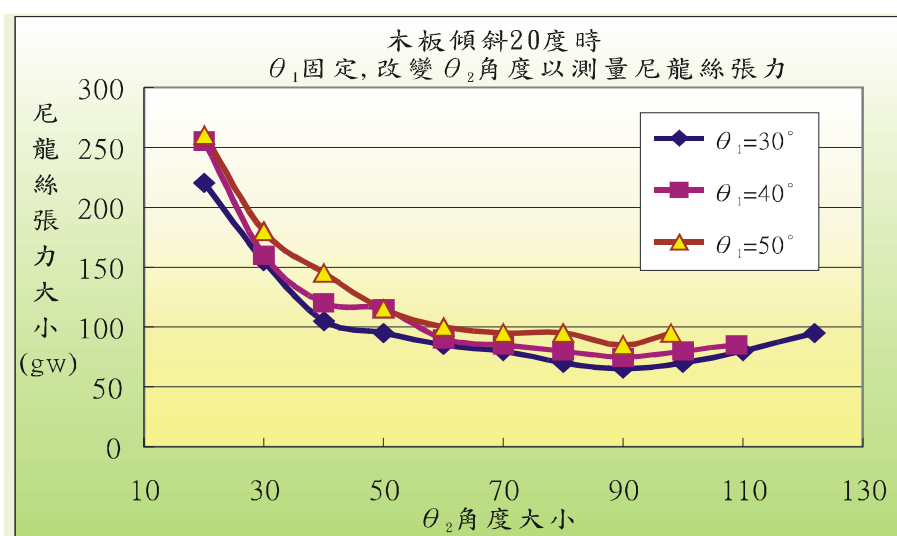


圖 36

- (1)木板傾斜 20° 時，當 $\theta_1=30^\circ$ 、 40° 、 50° ，均以 $\theta_2=90^\circ$ 的張力最小，此角度也是橫桿與尼龍絲垂直。隨著 θ_2 角度變小($90^\circ \rightarrow 20^\circ$)，張力卻愈大。與研究三的實驗 A 結果相似，但張力的數值較大，顯示木板傾斜會改變張力大小。
- (2)對同角度的 θ_2 而言， θ_1 角度愈大，張力也愈大。

2、木板順時針傾斜 20° 及固定 θ_2 ，改變 θ_1 ，測量尼龍絲張力(表 7、圖 37)

表 7 樹枝沿鉛垂線順時針傾斜 20°					
$\theta_2=30^\circ$		$\theta_2=40^\circ$		$\theta_2=50^\circ$	
θ_1	張力(gw)	θ_1	張力(gw)	θ_1	張力(gw)
110	150	110	115		
100	170	100	125	100	100
90	180	90	150	90	120
80	200	80	155	80	130
70	210	70	160	70	135
60	180	60	155	60	125
50	175	50	150	50	115
40	165	40	130	40	105
30	155	30	110	30	85
20	120	20	90		

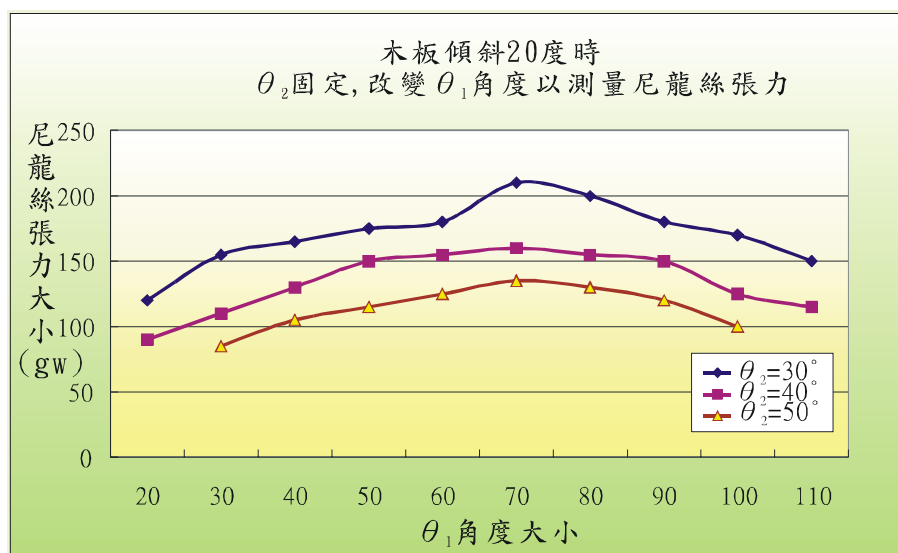


圖 37

(1)當 $\theta_2=30^\circ$ 、 40° 、 50° ，都以 $\theta_1=70^\circ$ 的張力達到最大值，橫桿恰與地面平行，與研究三實驗 B 的結果相似。

3、將木板逆時針傾斜 20° 及固定 θ_1 ，改變 θ_2 ，測量尼龍絲張力(表 8，圖 38)

表 8 樹枝沿鉛垂線逆時針傾斜 20°					
$\theta_1=40^\circ$		$\theta_1=50^\circ$		$\theta_1=60^\circ$	
θ_2	張力(gw)	θ_2	張力(gw)	θ_2	張力(gw)
110	40				
100	35	99	65	94	100
90	30	90	60	90	95
80	45	80	65	80	100
70	50	70	70	70	105
60	55	60	75	60	110
50	60	50	85	50	120
40	70	40	100	40	145
30	85	30	130	30	180
		20	190	20	255

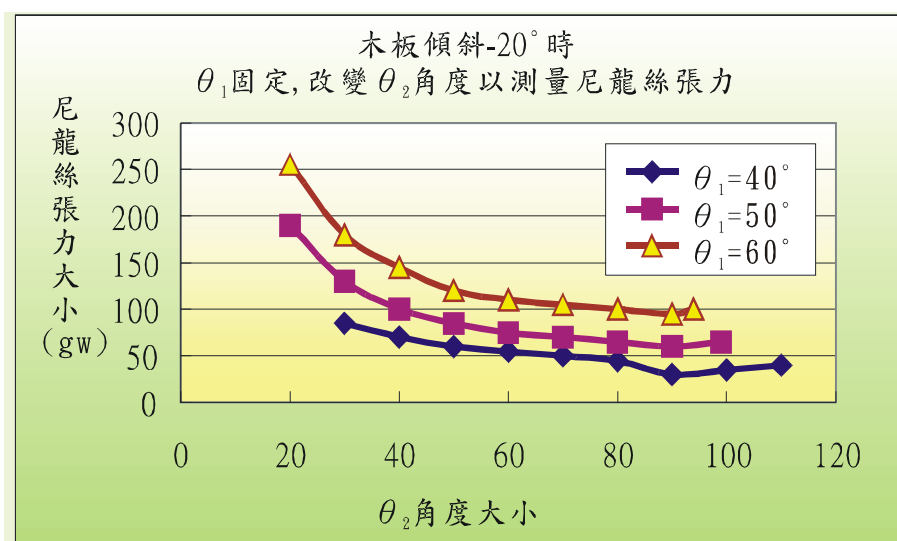


圖 38

(1)木板傾斜 -20° 時，當 $\theta_1=40^\circ$ 、 50° 、 60° ， $\theta_2=90^\circ$ 的張力最小(金屬橫桿與尼龍絲垂直)。

與之前實驗 A 結果不謀而合，但張力值較小。顯示木板傾斜雖會改變張力大小，但蛹身與絲帶垂直仍為最省力的方式。

(2) 對同 θ_2 而言， θ_1 角度愈大，張力也愈大。

4、將木板逆時針傾斜 20° 及固定 θ_2 ，改變 θ_1 ，測量尼龍絲張力(表 9，圖 39)

表 9 樹枝沿鉛垂線逆時針傾斜 20°					
$\theta_2=40^\circ$		$\theta_2=50^\circ$		$\theta_2=60^\circ$	
θ_1	張力(gw)	θ_1	張力(gw)	θ_1	張力(gw)
120	235	120	185	115	160
110	255	110	195	110	165
100	250	100	180	100	155
90	230	90	175	90	150
80	215	80	165	80	150
70	185	70	135	70	135
60	155	60	115	60	115
50	120	50	85	50	80
40	70	40	60	40	45
				30	20

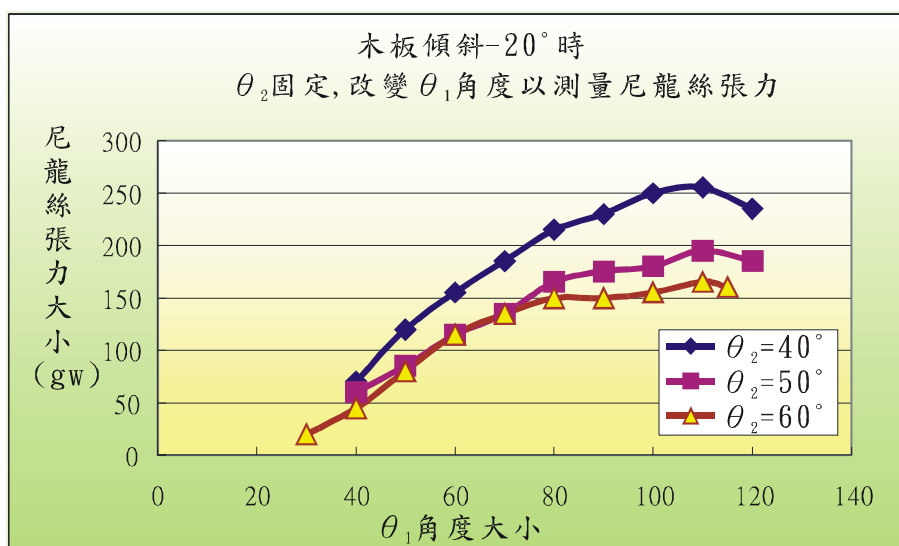


圖 39

(1)當 $\theta_2=40^\circ$ 、 50° 、 60° ，均以 $\theta_1=110^\circ$ 的張力最大(橫桿與地面平行)，顯示木板傾斜會改變張力大小；隨著 θ_1 進一步變小，張力也逐漸變小。

(2)上述的結果(橫桿與地面平行時張力最大)，與之前實驗 B 的結果相似。

5、綜合以上的實驗推知：

(1)絲帶與蛹身成 90° 時的張力最小，大多數蝶蛹也以此最省力的方式結在樹枝上。而且蛹身與樹枝的角度(θ_1)越小，絲帶張力也跟著變小。

(2)絲帶與蛹身固定 90° 時，木板沿鉛垂線逆時針傾斜 20° 的張力較順時針傾斜 20° 時更小。

在大自然的觀察中均未發現鉛垂線穿過樹枝與蛹身的夾角(θ_1)，因此推測木板沿鉛垂線逆時針傾斜後，絲帶張力雖然變小，但蛹的重心更不穩且不易固定，不利於羽化時成蝶鑽出。

五、利用槓桿原理探討絲帶實際張力與蛹身重量的關係

(一) 實驗步驟及方法

運用多數蝶蛹絲帶張力的方向與蛹身垂直的特性，我們以垂吊法，尋求帶蛹的重心位置，進而推測出絲帶張力。

- 1、取下樹枝上蛹身側面突起部份與地面平行者，任意找二點將蛹分別懸吊在空中，沿著二懸吊線的延長線交叉點即為重心位置。
- 2、以游標尺測量各段距離，利用槓桿原理求出絲帶張力。(圖 40)

$$\text{絲帶張力} = (\text{蝶蛹重量} \times \text{長度 A}) / \text{長度 B}$$

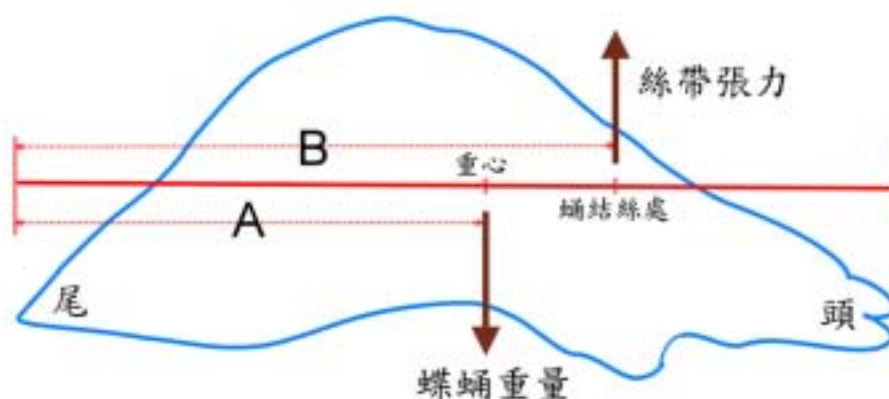


圖 40

(二) 實驗結果與討論

表 10 絲帶實際張力與蛹身重量的關係

蝶蛹重量(克)	長度 A(cm)	長度 B(cm)	絲帶張力(克)	絲帶張力/蝶蛹重量
1.077	1.77	2.18	0.874	0.811
0.795	1.58	1.96	0.641	0.806

- 1、我們故意挑選大小差距頗大的蛹來測量，由表 10 的數據推論：絲帶張力約佔蝶蛹重量的 80%。
- 2、若蛹身不平行水平面，也可利用通式求得

$$\text{絲帶張力} \times \text{長度 B} = \text{蝶蛹重量在垂直於蛹身方向的垂直分量} \times \text{長度 A}$$

3、另外，我們測量並統計絲帶位置絕大多數都在蛹身全長的 60%處(圖 41)。以蛹身平行地面為例，推估蛹的重心位置大約位於尾部至絲帶長度的 80%處。那麼重心應該在中央位置居多(即 $60\% \times 80\% = 48\%$)。

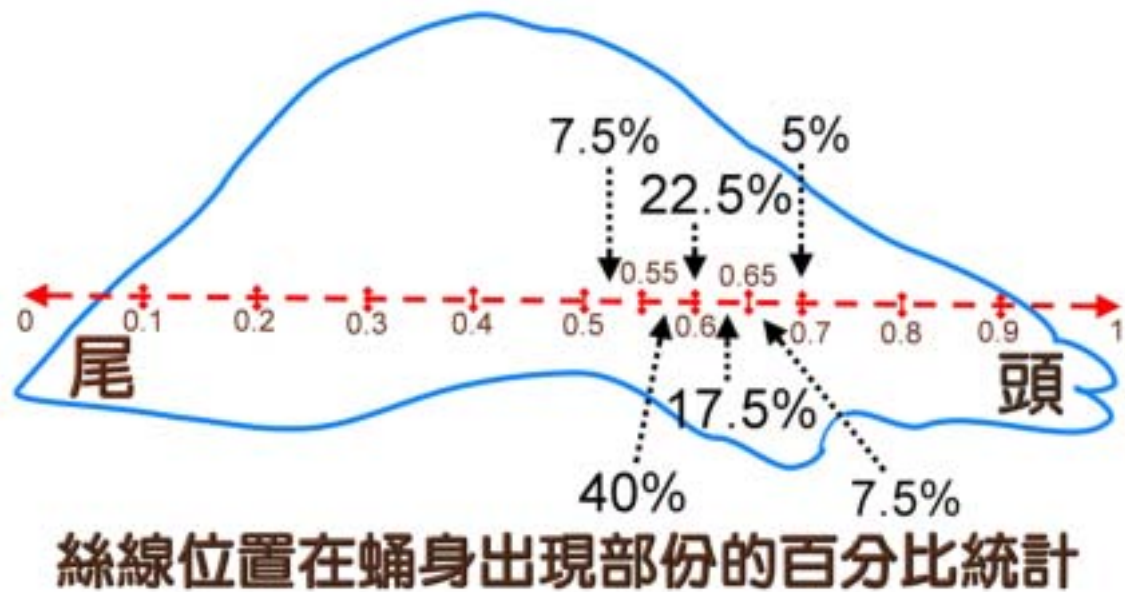


圖 41

六、模擬蝶蛹的重心位置與絲帶張力的關係

(一) 實驗步驟及方法

- 1、模擬蝶蛹在樹枝最可能的結蛹角度，利用自行設計裝置將尼龍線一端固定在編號 6 號的金屬橫桿位置(圖 42)，另將 50gw 砝碼分別掛在編號 3、4 或 5 位置。
- 2、調整橫桿與木板夾角 θ_1 為 $30^\circ \sim 60^\circ$ ，橫桿與尼龍線的夾角 θ_2 在 $80^\circ \sim 100^\circ$ ，測量尼龍線張力。

(二) 實驗結果與討論(表 11)

圖 42

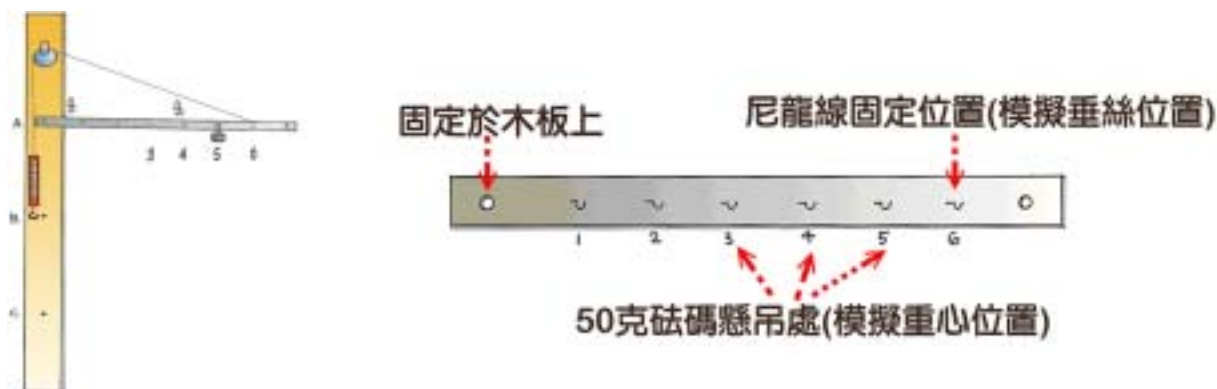


表 11

橫桿和木板、絲帶的夾角		砝碼吊掛的橫桿編號			
θ_1	θ_2	3	4	5	數據分析
30°	80°	33	60	50	$\theta_1=30^\circ$ 、 θ_2 介於 $80^\circ \sim 100^\circ$ ，重心偏向正中央(3 號位置)，最省力
	90°	30	50	40	
	100°	35	60	60	
40°	80°	65	50	70	$\theta_1=40^\circ$ 、 θ_2 介於 $80^\circ \sim 100^\circ$ ，重心在中央偏右(4 號位置)，最省力
	90°	50	36	50	
	100°	60	55	80	
50°	80°	60	90	80	$\theta_1=50^\circ$ 、 θ_2 介於 $80^\circ \sim 100^\circ$ ，重心偏向正中央(3 號位置)，最省力
	90°	55	75	75	
	100°	60	80	110	
60°	80°	90	80	95	$\theta_1=60^\circ$ 、 θ_2 介於 $80^\circ \sim 100^\circ$ ，重心中央偏右(4 號位置)，最省力
	90°	70	60	80	
	100°	90	65	70	

1、根據我們的實驗數據得：

- (1)當蛹身與樹枝夾角為 $30^\circ \sim 60^\circ$ ，最可能的重心位置均在中間或中間稍偏右(靠近頭部)。
- (2)若蛹身與樹枝夾角(θ_1)介於 $30^\circ \sim 60^\circ$ ，其絲帶張力最省力的角度(θ_2)均為 90° ，其中又以 $\theta_1=30^\circ$ 、 $\theta_2=90^\circ$ 的方式最為省力，正和我們所觀察到多數蝶蛹與樹枝及絲帶的夾角不謀而合。

伍、討論與結論

【研究一】蝴蝶生活史與形態觀察

- 1、雌蝶分泌黏質將卵固著於產卵地點，一般是產於葉的背面，卵包覆著硬的外殼以保護幼蟲，頂端有一細小的精孔，由此供應幼蟲胚胎發育所需的空氣和濕度。
- 2、孵化幼蟲先咬破卵殼後爬出，一般會先吃掉卵殼才開始吃樹葉。
- 3、幼蟲主要分成：頭、帶胸甲的身體及腹部。頭包含六隻很簡單的眼睛。每一段胸部都有一隻具有關節的真足；腹部通常有五隻腹足，其上有將幼蟲掛上絲墊或葉子的小勾勾。
- 4、結蛹過程：吐絲做絲墊→固定尾部→來回拉絲帶約 15 次(1.5min/次，歷時 24min)→頭部從絲帶下方鑽入，後仰使絲帶滑至背部→化蛹時，幼蟲表皮從背部中間裂開，不斷扭轉軀體使皮層褪至尾部端掉落(8.5min)→剛暴露在外頭的蛹十分柔軟且脆弱，體壁逐漸收縮直到硬化。
- 5、經觀察與統計：大多數的鳳蝶(帶蛹)，其接近頭部的側面突起常與地面平行，且蛹身與絲帶常呈垂直。
- 6、蝴蝶出蛹時，腹部朝上，先伸出頭及腳，然後以腳攀附蛹體或樹枝，拉出身體伸展翅膀並晾乾及充血。

【研究二】模擬蝶蛹在樹枝上的形態，設計一組簡易裝置來探討蝶蛹夾角與張力的關係

一、關於蝶蛹與樹枝及絲帶的夾角

- 1、統計實際蝶蛹的夾角發現：

蛹身尾部與樹枝夾角	佔有率
30°~40°	57.5 %
20°~29°	42.5 %

蛹身與絲帶夾角	佔有率
91°~115°	17.5 %
90°	55 %
72°~89°	27.5 %

- 2、由實驗中證實

- (1)當蝶蛹與樹枝夾角介於 30°~50°，蝶蛹與絲帶夾角為 90 時的張力均最小。蝶蛹似乎正巧妙的運用此一最省力的方式使蛹身固定於樹枝上免於斷裂。
- (2)若蝶蛹與樹枝夾角固定，蝶蛹與絲帶的夾角愈小(90°~20°)，張力反而愈大。
- (3)當蝶蛹與絲帶夾角等於 90°時，蛹身與樹枝的角度越小，絲帶張力也變小。

二、關於帶蛹的重心位置與結蛹角度

- 1、選擇蛹身近乎與地面平行者進行數據推論：絲帶張力約佔蛹重量的 80%。
測量並統計絲帶位置出現的機率，絕大多數都在蛹身全長的 60%處(尾部算起)。並以蛹身平行地面者推估蛹重心位置在中央位置者居多。
- 2、當蛹身與樹枝夾角介於 30°~60°，最可能的重心位置均在中間或中間稍偏向頭部。
- 3、若蛹身與樹枝夾角介於 30°~60°，絲帶張力最省力的角度均為 90°，其中又以蛹身與樹枝夾角為 30°、蛹身與絲帶夾角為 90°的方式最省力，正和我們所觀察到的多數蝶蛹夾角不謀而合。

陸、生活中的應用實例

- 一、攀岩：當攀岩專家欲攀下陡峭的岩壁時，會盡量將繩索綁在身體重心偏上方且繩索與身體成 90° ，如此一來就能減少繩索負荷降低斷裂的機會，和蝶蛹的生長方式(岩壁是樹枝、繩索是絲帶、人是蛹身)相似。
- 二、電線桿上施工的工人：利用繩索綁住自己的腰部，身體像蝶蛹一樣斜躺，身體與安全帶成 90° 且身體與電線桿成銳角。

柒、未來展望

昆蟲通常是環境最好的偵測器，紫斑蝶遷移群代表檢驗台灣環境健康的一個正面指標。蝴蝶愈多，我們也愈安全。希望我們能有更多的時間來了解美麗小蟲子一生的特質，蝴蝶是否都像紫斑蝶一樣有固定的遷徙路線？

捌、參考資料

- 一、台灣賞蝶地圖 張永仁著 晨星出版
- 二、臺灣蝶圖鑑第一卷 徐堉峰著 臺灣省立鳳凰谷鳥園
- 三、昆蟲入門 張永仁著 遠流出版社
- 四、昆蟲圖鑑 張永仁著 遠流出版社
- 五、台灣賞蝶情報 陳維壽著 青新出版社
- 六、第二章自然界力的作用 康軒版 自然與生活科技 國中二上
- 七、形形色色的生物 南一版 自然與生活科技 第二冊 第四章
- 八、生物與環境的交互作用 南一版 自然與生活科技 第二冊 第五章
- 九、自然界力的作用 康軒版 自然與生活科技 國中二上 第二章
- 十、奇妙的物質世界 康軒版 自然與生活科技 國中二上 第一章
- 十一、三角形的性質 仁林版，數學，第二冊，第三章，第一節，
- 十二、動物行為 南一版，自然與生活科技，第一冊，第五章，第一節
- 十三、動物怎樣運送體內物質 南一版，自然與生活科技，第一冊，第四章，第二節
- 十四、生命的演變 南一版 自然與生活科技 第二冊第三章
- 十五、紅珠鳳蝶 <http://home.kimo.com.tw/kotatw/b0003.htm>
- 十六、大鳳蝶 <http://e-info.org.tw/topic/butterfly/Papilio-memnon/Papilio-memnon.htm>
- 十七、國際合作青斑蝶研究 <http://www.ymnnp.gov.tw/web/view5.aspx#1>
- 十八、蝴蝶常識 <http://www.xiaoyaogu.com/wzwj/qrg/p-7.htm>
- 十九、昆蟲的生態圖鑑 <http://www.geocities.co.jp/AnimalPark-Tama/1915/index.html>
- 二十、蝴蝶樂園 <http://www.hk-green.com/news/new108.htm>
- 二十一、台北南港國小鄉土自然教室昆蟲飼養紀錄 <http://www.nkps.tp.edu.tw/00075>
- 二十二、幼蟲圖鑑 <http://www.j-nature.jp/butterfly/zukan/yochu/index.htm>
- 二十三、羽化與脫皮特集 <http://www.h2.dion.ne.jp/~usako/uka.html>

高雄市立 國民中學 函

副本

地址：802 高雄市
承辦單位：教務處
聯絡電話：07-
聯絡人：
機關傳真：07-
電子郵件：

kh.edu.tw

受文者：本校教務處

發文日期：中華民國 年 月 日

發文字號：高市 教字第 0940000938 號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：

主旨：本校擬與金獅湖風景區蝴蝶園繼續長期合作進行蝴蝶生態研究，並將成果製作成網頁供全校師生學習，懇請 惠予同意。

說明：

- 一、貴單位所屬之金獅湖風景區蝴蝶園資源彌足珍貴，值得作為教學與研究教材。
- 二、請金獅湖風景區蝴蝶園能協助戶外教學研究之師生拍攝蝴蝶生態，以便能完整記錄其生活史。

正本：高雄市風景區管理所

副本：本校教務處

校長 陳

檔 號：
保存年限：

高雄市風景區管理所 函

地址：高雄市左營區翠華路 1435 號
承辦單位：總務組
聯絡電話：07-3475317
聯絡人：陳秋富
機關傳真：07-5883746

受文者：

發文日期：中華民國 94 年 月 日

發文字號：高市景區總字第 0940001258 號

類別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：

主旨：有關 貴校擬與本所金獅湖風景區蝴蝶園合作進行蝴蝶生態研究乙案，敬表同意，請 查照。。

說明：

一、復 貴校 94 年 月 日高市 教字第 0940000938 號函。

二、本所金獅湖風景區蝴蝶園在全體同仁同心努力下，已略具成效，廣為各校戶外生態教學之場所，亦可作為 貴校規劃寒暑假生態研習營之教材，以擴大教育成效。

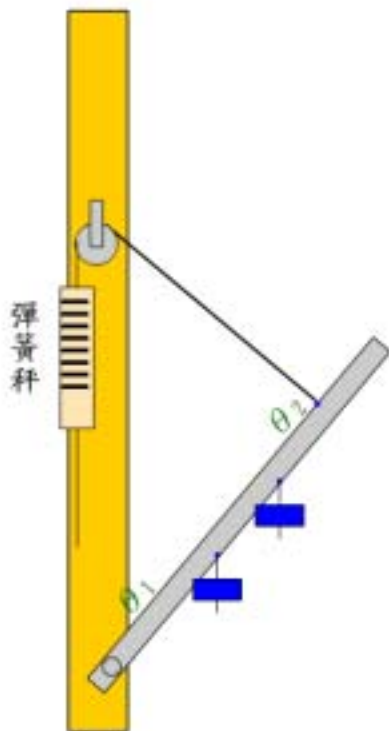
三、有關蝴蝶生態之拍攝請逕洽本所金獅湖管理站，聯絡電話：07-3475317。

正本： 市立 國民中學

副本：本所金獅湖管理站

模擬帶蛹吊在樹枝上裝置

1、當 θ_1 固定，改變 θ_2 角度
測量尼龍絲的張力

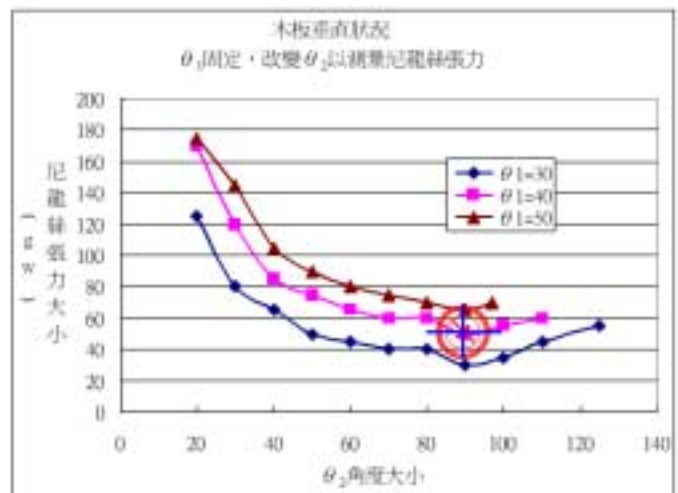


請以滑鼠點選下方數字

$\theta_1=30^\circ$	$\theta_2=$	125	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20
$\theta_1=40^\circ$	$\theta_2=$		110	100	90	80	70	60	50	40	30	20
$\theta_1=50^\circ$	$\theta_2=$			97	90	80	70	60	50	40	30	20

當 $\theta_1= 40^\circ$ ，而 $\theta_2= 90^\circ$

尼龍絲張力= 50 (gw)



中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
評 語

國中組 生物及地球科學科

第一名、最佳創意獎

031704

「蛹」「帶」生命

高雄市立五福國民中學

評語：

以自製器材用物理的方法解釋帶蛹絲帶之夾角與張力的相關現象，想法獨到觀察敏銳極富創造力。