

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生物科

080311

「紫耀」你知道 紫斑蝶幻色條件之探討

學校名稱：雲林縣林內鄉成功國民小學

作者： 小六 連子緯 小六 張庭語 小六 廖子齊 小六 葉佳綺 小六 黃玟碩	指導老師： 賴世偉 劉承翰
---	-----------------------------

關鍵詞：紫斑蝶、幻色

作品名稱：紫耀你知道-紫斑蝶幻色條件之探討

摘要

紫斑蝶生態課程為我們的校本課程，然而在一次解說導覽的活動中，發現我們對於紫斑蝶的了解只流於資料記憶，於是展開了這一場科學觀察實驗。實驗設計中為了要避免光線干擾，我們自製暗箱，並利用 RGB 三原色的概念進行分析。發現在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，不同的視覺角度，所呈現的幻色效果不一樣；光線的強弱也影響幻色的呈現；白色光線與黃色光線相較之下，白光的幻色效果較佳。透過探究歷程，了解紫斑蝶的結構色彩，是適應自然環境的重要方法，生活中也存在結構色的應用，現在人類也利用仿生科技的技術進步，將如同蝴蝶鱗片結構一般，應用在許多光電元件和材料上，發展出如信用卡與紙鈔的雷射防偽技術，甚至是能展現耀眼光澤的布料與烤漆。

壹、 前言(含研究動機、目的、文獻回顧)

1、 研究動機

紫斑蝶一直都是學校的校本課程，我們從一年級開始，就開始接觸關於紫斑蝶的各種知識，學校也積極培養我們進行導覽解說，將紫斑蝶的知識分享給更多人知道。去年紫斑蝶季，我們在學校擺攤導覽。某國小的學生爬龍過脈到我們學校，與我們校際交流，我們進行導覽解說，介紹紫斑蝶的一生。當我們細細介紹紫斑蝶的翅膀會呈現出藍紫色的幻色時，忽然有一位老師問我們「為什麼」會有幻色的情形？「什麼樣的情況下」幻色會最明顯？我們當場啞口無言的看著我們老師。為了把這個情形弄清楚，也剛好遇到畢業小論文的課程，於是老師就帶著六年級的學生，進行紫斑蝶幻色的探究。

2、 研究目的

- (一) 在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，探究不同視覺角度(水平軸)與紫斑蝶幻色呈現的關係。
- (二) 在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，探究不同視覺角度(垂直軸)與紫斑蝶幻色呈現的關係。
- (三) 在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，探究顏色燈泡與紫斑蝶幻色呈現的關係。
- (四) 在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，探研究不同瓦數燈泡對於紫斑蝶幻色之影響。

3、 文獻回顧

(一) 紫斑蝶

紫斑蝶類隸屬於昆蟲綱(Insecta) > 鱗翅目(Lepidoptera) > 蛺蝶科(Nymphalidae) > 斑蝶亞科(Danainae) > 紫斑蝶屬(Euploea)，展翅寬度約 4-8 公分，中大型蝶

種。牠們春夏在全台各地繁殖，郊區、都會區都很容易觀察，冬天則會在台灣南部過冬，其中高雄茂林是主要的紫蝶聚集越冬區域。(資料來源：紫蝶生態網。)

共同特徵是前翅背面紫色，並且帶有物理光澤；舞動翅膀時，蝶翼上的鱗粉經由陽光折射，會因為角度的不同，而呈現出或淡紫、或豔紫、或亮藍的夢幻般紫色光彩；耀眼、奇幻、流竄成河的紫色大軍，造就了紫蝶幽谷的美名，亦是魯凱族世代相傳之寶藏。

紫斑蝶絨布般質感的翅膀上，滿佈著能夠產生類似三稜鏡分光作用的「物理色鱗片」，當光線通過這些鱗片後會產生繞射、反射、色散等物理現象，於是隨著觀察方位及陽光照射角度的改變，紫斑蝶翅膀便會呈現出各種不同的顏色，日本昆蟲專家將之稱為「幻色」。近年來有汽車業將這個原理成功運用在汽車烤漆上，並強調是一種可取代高污染化學烤漆的環保原料。

台灣的紫斑蝶一共有五種，分別為大紫斑蝶、小紫斑蝶、斯氏紫斑蝶、圓翅紫斑蝶、端紫斑蝶。其中，大紫斑蝶以已經滅絕。(訪談；廖金山老師，20231207)

小紫斑蝶

小紫斑蝶個體小，腹部有白點是記號。寶寶只吃盤龍木。冬天蝶谷少不了。





圓翅紫斑蝶

圓翅，白斑兩面點。個體較大，翅較圓。捲毛寶寶愛吃榕。食材多樣亦常見。

斯氏紫斑蝶

斯氏翅，勝有三點。公蝶背後多兩撇。寶寶只吃羊角藤。中部常見的蝴蝶。





端紫斑蝶

端紫白斑最發達。雄雌後翅差異大。錦蘭絡石及榕屬。食草跨科不匱乏。

每一種紫斑蝶的特徵並不相同，但有一個簡單的口訣，可以讓我們很容易辨識牠們的特徵：



【資料圖片來源：紫斑蝶達人手冊 P6】

(二) 紫斑蝶的一生

紫斑蝶是台灣中、低海拔地區常見的蝶種，牠和所有的蝴蝶一樣，一生必須經歷卵、幼蟲、蛹、成蟲四個階段，是一種屬於「完全變態」的昆蟲。



【圖片來源：紫斑蝶達人手冊 P5】

(三) 紫斑蝶的越冬行為

因為紫斑蝶是熱帶起源的蝴蝶，所以冬天時會來到南台灣溫暖的山谷裡避冬，牠們死亡的臨界溫度是 4°C ，正常活動溫度是 15°C 以上，目前全世界的兩個最大型的越冬蝴蝶谷其一是墨西哥的帝王斑蝶谷、另一個就是台灣的紫蝶幽谷。

紫斑蝶遷移路徑至今仍只有少數片段證據，遷移的旅程估計超過 150 公里，存活的時間則可超過半年，近期又陸續在嘉義縣梅山、里佳、達那伊谷一帶、雲林縣古坑鄉、彰化縣八卦山區及台中大肚山區等地，觀察到斑蝶類遷移蝶道。

根據近年來（2001-2005）調查資料，研究人員已歸納出紫斑蝶全年遷移模

式，並紀錄到宛如蝶河般每分鐘通過超過一萬隻紫斑蝶的驚人生態現象。

整體來說，紫斑蝶每年至少會出現三次大規模遷移蝶道：分別為初春北移、二次遷移、南遷渡冬。路線圖如下：



【西部蝶道】

每年紫斑蝶會依循固定路線離開越冬棲地。紫斑蝶北返飛行的蝶道，路線從茂林開始最早被記錄，經過寶來、月世界、台南曾文水庫、台南關子嶺、茶山、達娜伊谷、石桌、雲林林內鄉、彰化八卦山、台中大肚山、再到苗栗竹南海邊，銜接成一條蝴蝶的高速公路。

【東部蝶道】

另一條遷徙路線為棲息在台東大武溪谷的越冬紫斑蝶，循東部海岸線一路北遷，到花蓮立霧溪口附近，再到宜蘭，最遠可達新北市龍洞，飛行距離超過 300 公里；少部分會沿大武溪上游越過中央山脈南端的大漢山，再往台灣西部遷移。

【蝶道示意圖；圖片來源：紫蝶生態網】

(四) 紫斑蝶顏色

紫斑蝶翅膀上的顏色大致可分為腹面的化學色(色素色)及背面的物理色(結構色)，背面的物理色鱗片具有此種類似光子晶體的網狀結構其週期在數百奈米左右，可反射部分顏色的光，其餘顏色的光則會穿透過去，會隨著光線的照射及觀察者的角度不同而呈現不同的顏色，因此又被稱為「幻色」，而幻色的原理是光線的照射下鱗片的溝槽狀結構所產生出的繞色、干涉、散射現象，類似三稜鏡的原理，而腹面的化學色則無此現象。(引用自奈米與自然界網頁與紫斑蝶生態網)

(五) 光線反射的相關原理

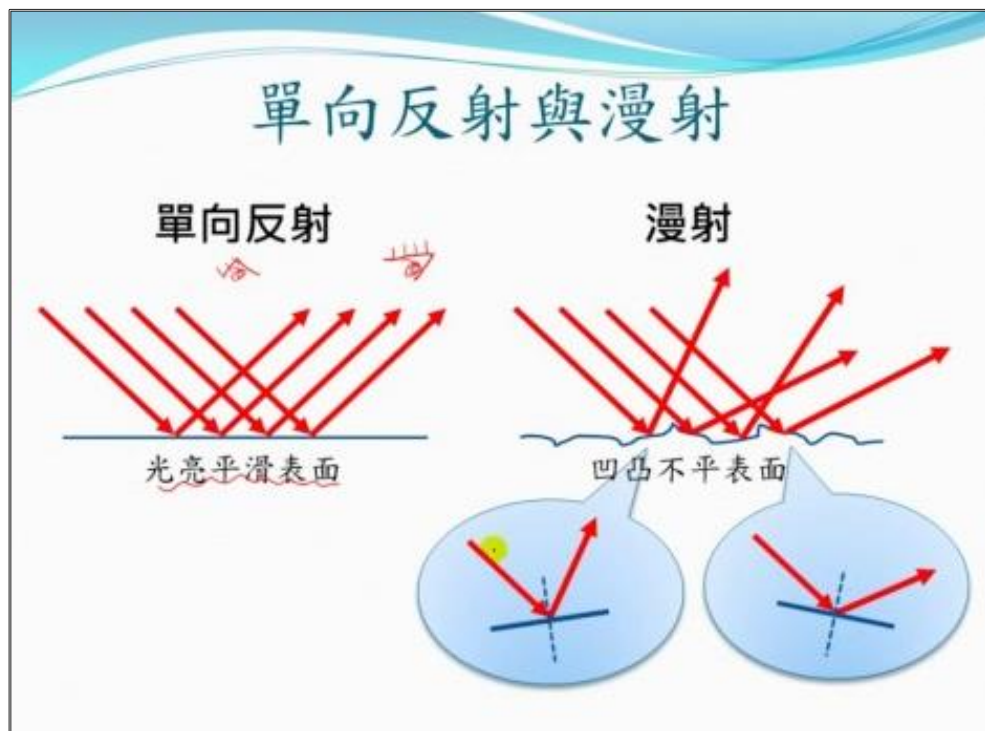
1. 光由一介質遇障礙物或另一介質時，在界面處改變方向，射回原介質的現象。
2. 萬花筒中的成像，即是光的反射現象所造成。
3. 反射的種類：

(1)單向反射：

- a. 平行光入射，遇到光滑反射面，其反射光亦為平行光。
- b. 平面鏡的反射屬於單向反射。

(2)漫射(多重反射)：

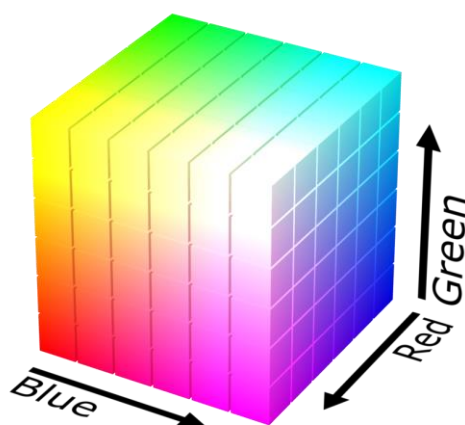
- a. 平行光遇到凹凸不平的反射面，反射光各方向皆不同。
- b. 我們能見到物體，是由於物體經漫射的結果。
- c. 日出前、日落後，依然能見物體，是漫射的結果。



【單向反射與漫射示意圖；圖片來源：均一教育平台】

(六) RGB 原理與應用

RGB 被稱為「三原色光模式」，主要是顯示於電子螢幕上，經由紅(R)、綠(G)、藍(B)，三種色光混合而成也稱為光的三原色，而當這三種顏色重疊後可以打造出無數種的顏色，數值的範圍從 0-255，當所有成分為 0 時為純黑色，所有數值都為 255 時，則為純白色，所以當顏色疊加越多時就會越明亮；如果你的設計載體選擇為螢幕時那麼色彩模式會自動為 RGB 模式。



【RGB 座標空間示意圖；圖片來源：維基百科】

(七) 國小科展關於幻色的相關研究

上網搜尋相關研究，發現以下幾筆資料，整理如下表：

屆數	名稱	結論
中華民國 第 46 屆	蝶鱗的妙 用	<ol style="list-style-type: none">1.由鱗片的排列組合成每種蝴蝶特有的斑紋與顏色。2.有保護翅膀的功效。3.有保護生命的功用：當蝴蝶翅膀被蜘蛛絲或人類抓到時，可藉由灑落鱗片，來增加逃脫的機會。4.能調節溫度：鱗片可以降低翅膀吸收熱能，使夏日中午，蝴蝶的溫度不會上升太快，在冬天時，能使溫度下降不會太快，使蝴蝶的溫度不會變化太大。

		5.能當做蝶種分類依據。
中華民國 第 46 屆	幻紫情謎 ——友蚋 斑蝶生態 大揭秘	台灣茂林的紫蝶幽谷和墨西哥帝王斑蝶谷被國際學者並列為世界兩大越冬型蝶谷，紫斑蝶及青斑蝶也是我們常見的蝶種，對其生態現象可做深入的探究。本研究以基隆友蚋山區為調查樣區，調查辨識當地的斑蝶蝶種、食草、和蜜源植物，並利用捕捉標記法，調查樣區斑蝶成蟲秋季到春季的數量消長，在當地越冬的種類及個體。藉由這些調查及觀察記錄，來探討斑蝶的生態現象，進而瞭解其珍貴性，了解保護蝴蝶必先保護其生存的環境。
中華民國 第 47 屆	高潮蝶起	<p>1.蝴蝶的翅膀由很多鱗片組成。它的顏色有物理色和色素色，我們的實驗證明了這兩種顏色是不同的。</p> <p>2.鳳蝶科的鱗片是很多樣化的，大部分鳳蝶鱗片的種類，都在六種以上。斑蝶科的鱗片，都在三種以上。</p> <p>3.弄蝶科鱗片的種類，在五種以上。蛺蝶科鱗片的種類，在三種以上。</p> <p>4.粉蝶科鱗片的種類，在兩種以上。蛇目蝶科的鱗片，在兩種以上。</p> <p>5.環紋蝶科的鱗片，都在兩種以上。小灰蝶科的鱗片，也都在兩種以上。</p> <p>6.蝴蝶鱗片的構造，在物種分類上，也是相符合的；在同一科蝴蝶的鱗片，有很高的相似性。</p>
2008 國際 科展	紫蝶幻影	翅膀之所以有幻色現象則是因鱗片等微結構的不同。其中圓翅紫斑蝶、小紫斑蝶在幻色區域是由同種較寬圓的鱗片排列而成，無幻色區由細長與寬圓鱗片交錯排列而成；端紫斑蝶則是皆由兩種鱗片交錯排

		列；斯氏紫斑蝶則在無幻色區域是由兩種較寬圓的鱗片交錯排列而成，幻色區由寬圓鱗片排列而成。
--	--	--

貳、 研究設備及器材

1、本實驗所需設備及器材如下所示

高畫質數位單眼相機 1 台、紫斑蝶翅膀、黑色紙卡、量角器、自製暗箱、手繪旋轉角度參考圖，手機架 1 架、3W、13W、23W 晝光燈泡、13W 黃光燈泡、分析軟體 PHOTOCAP，厚書本、數位顯微放大設備 25-100×、紀錄表



說明：自製觀察拍攝暗箱



說明：自製觀察拍攝暗箱



說明：黑色暗箱





說明：數位顯微放大設備 25-100×

(使用之圖片為本次實驗時拍攝)

參、 研究過程或方法

- 1、 【研究一】在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，探究不同視覺角度(水平軸)與紫斑蝶幻色呈現的關係。
 - (一) 收集紫斑蝶翅膀。
 - (二) 將紫斑蝶翅膀貼在黑色紙板上。
 - (三) 固定數位相機角度，與蝴蝶翅膀呈水平。
 - (四) 將貼有翅膀的黑色紙卡放在手機架上。
 - (五) 調整手機架為與桌面(書面)的夾角。
 - (六) 將所要拍攝的蝴蝶翅膀放入自製暗箱中。
 - (七) 利用數位相機拍攝不同角度蝴蝶翅膀照片。
 - (八) 將照片使用影像軟體 PHOTOCAP 分析，分析照片中幻色的效果。
 - (九) 蒐集三次測量之數據，再進行平均與製表。

	
說明：使用量角器確認觀察角度	說明：觀察情形
(使用之圖片為本次實驗時拍攝)	

2、【研究二】在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，探究不同視覺角度(垂直軸)與紫斑蝶幻色呈現的關係。

- (一) 收集紫斑蝶翅膀。
- (二) 將紫斑蝶翅膀貼在黑色紙板上。
- (三) 固定數位相機角度，與蝴蝶翅膀呈水平。
- (四) 將貼有翅膀的黑色紙卡放在手機架上。
- (五) 繪製旋轉角度參考圖，並貼在黑色 PP 板上，然後將 PP 板放入暗箱。
- (六) 調整手機架為與桌面(書面)的夾角。
- (七) 將所要拍攝的蝴蝶翅膀放入自製暗箱中。
- (八) 利用數位相機拍攝不同角度(利用旋轉角度參考圖)蝴蝶翅膀照片。
- (九) 將照片使用影像軟體 PHOTOCAP 分析，分析照片中幻色的效果。
- (十) 蒐集三次測量之數據，再進行平均與製表。



說明：觀察與拍攝情形



說明：使用旋轉角度參考圖確定角度。

(使用之圖片為本次實驗時拍攝)

3、【研究三】在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，探究不同顏色燈泡與紫斑蝶幻色呈現的關係。

(一) 收集紫斑蝶翅膀。

(二) 將紫斑蝶翅膀貼在黑色紙板上。

(三) 固定數位相機角度，與蝴蝶翅膀呈水平。

(四) 將貼有翅膀的黑色紙卡放在手機架上。

(五) 調整手機架為與桌面(書面)的夾角。

(六) 將所要拍攝的蝴蝶翅膀放入自製暗箱中。

(七) 更換不同顏色的 13W 燈泡。

(八) 利用數位相機拍攝不同顏色的 13W 燈泡下蝴蝶翅膀照片。

(九) 將照片使用影像軟體 PHOTOCAP 分析，分析照片中幻色的效果。

(十) 蒐集三次測量之數據，再進行平均與製表。

	
說明：拍攝 13W 白光情形	說明：拍攝 13W 黃光情形
(使用之圖片為本次實驗時拍攝)	

4、【研究四】在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，探究不同瓦數燈泡與紫斑蝶幻色呈現的關係。

(一) 收集紫斑蝶翅膀。

(二) 將紫斑蝶翅膀貼在黑色紙板上。

(三) 固定數位相機角度，與蝴蝶翅膀呈水平。

(四) 將貼有翅膀的黑色紙卡放在手機架上。

(五) 調整手機架為與桌面(書面)的夾角。

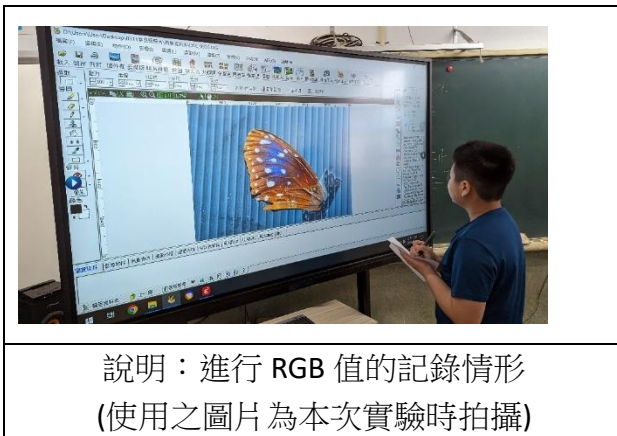
(六) 將所要拍攝的蝴蝶翅膀放入自製暗箱中。

(七) 更換不同瓦數晝光燈泡，分別為 3W、13W、23W。

(八) 利用數位相機拍攝不同瓦數晝光燈泡下蝴蝶翅膀照片。

(九) 將照片使用影像軟體 PHOTOCAP 分析，分析照片中幻色的效果。

(十) 蒐集三次測量之數據，再進行平均與製表。



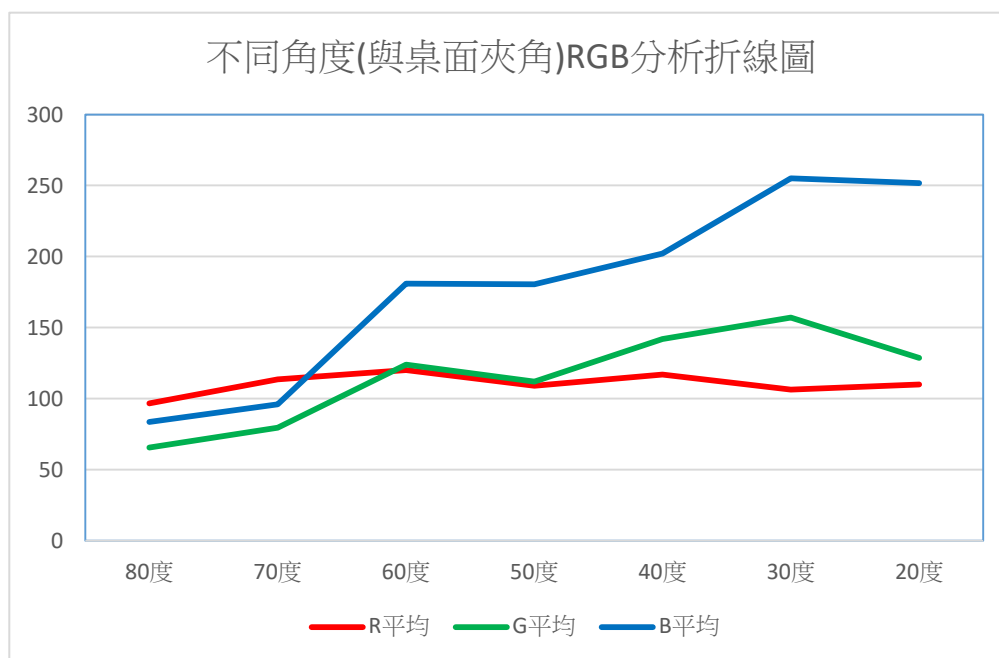
肆、 研究結果

1、【研究一】在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，探究不同視覺角度(水平軸)與紫斑蝶幻色呈現的關係。

(一) 將不同視覺角度(水平軸)的幻色照片，取固定位置進行 RGB 分析，分別於 3 日收集數據，再將其平均，結果如下。

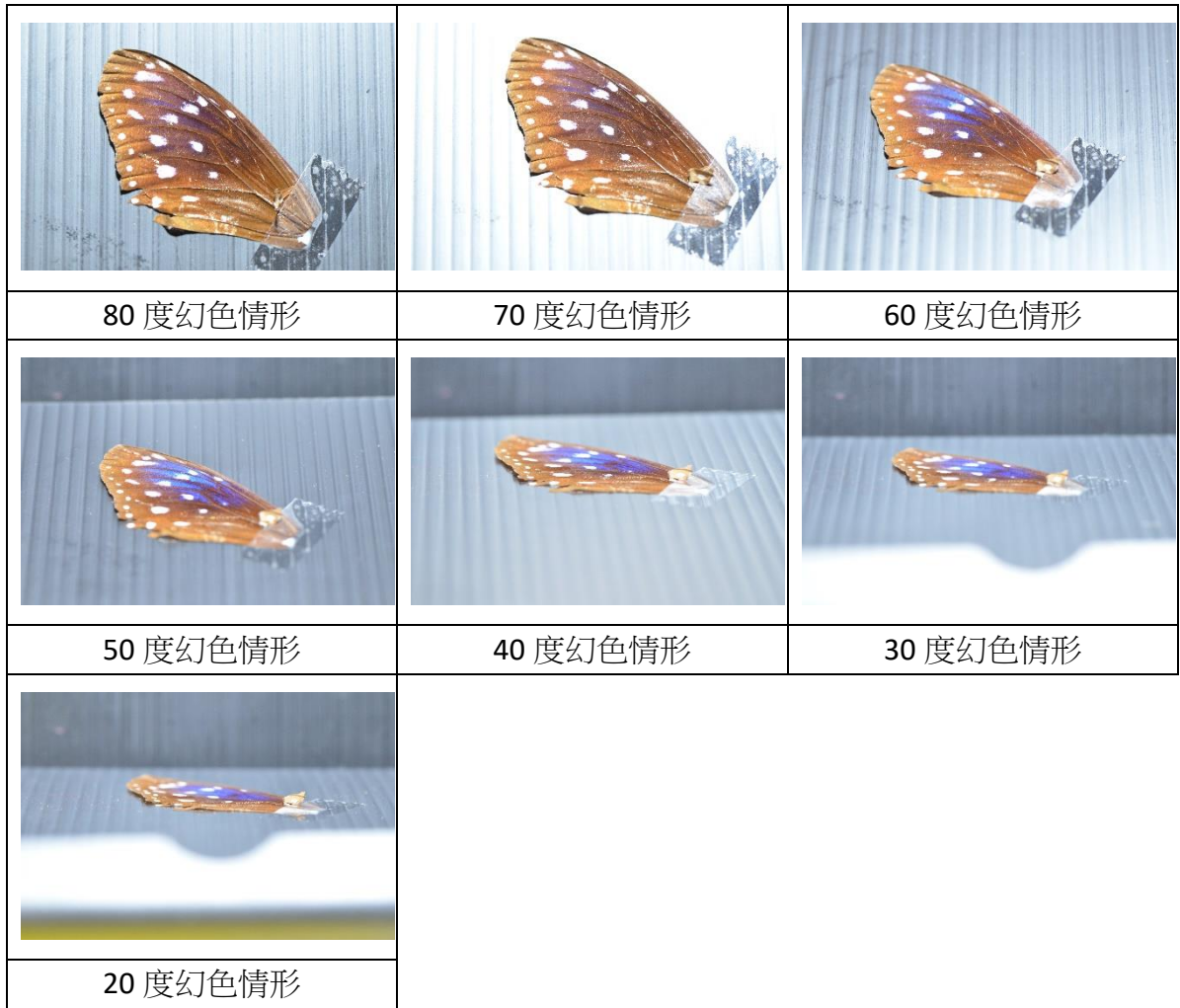
說明：13W 白光之資料整理																					
角度	80 度			70 度			60 度			50 度			40 度			30 度			20 度		
RGB	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
第一次	83	53	51	136	93	113	123	88	108	119	89	113	118	81	98	91	139	255	104	121	255
第二次	115	86	117	128	98	122	124	130	250	115	168	255	136	192	255	130	202	255	140	169	255
第三次	92	58	83	77	48	53	113	94	186	93	79	174	99	154	255	98	130	255	86	96	245
平均	96.6	65.6	83.6	113.6	79.6	96	120	104	181.6	109	112	180.6	117	142	202	106	157	255	110	128.6	251.6

(二) 將數據轉化為折線圖，圖表如下。



(三) 結果發現，在相機固定時，隨著角度(與桌面夾角)的改變，紫斑蝶翅膀圖片的 B 值變化，角度愈小，B 值愈大，但在 30 度最佳，在 80 度最差。

(四) 紫斑蝶不同角度之幻色情形照片。



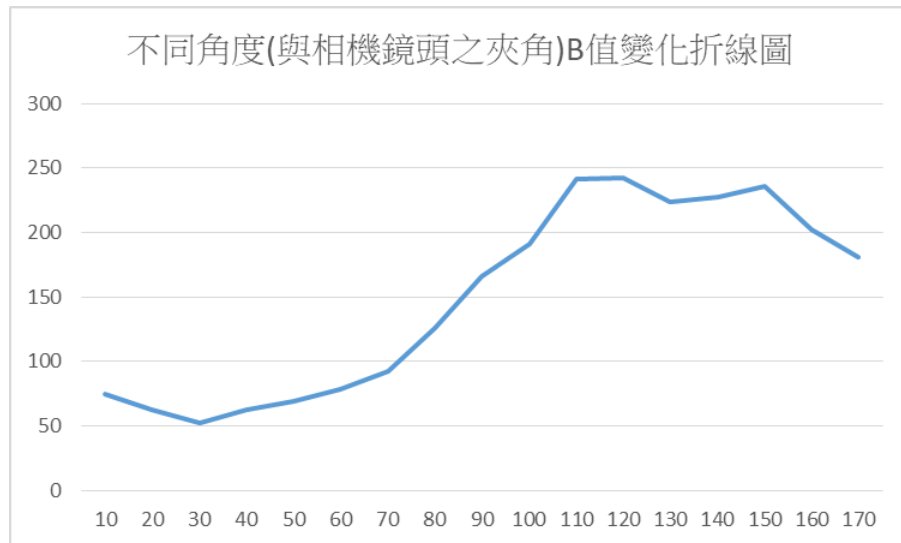
【使用照片為本次實驗中拍攝】

2、【研究二】在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，探究不同視覺角度(垂直軸)與紫斑蝶幻色呈現的關係。

(一) 將不同視覺角度(垂直軸)的幻色照片，取固定位置進行 RGB 分析，分別於 3 日收集數據，再將其平均，結果如下。

角度	10	20	30	40	50	60
B 值	75	62	52.6	62	68.6	78.6
角度	70	80	90	100	110	120
B 值	92.6	126	166.3	191	241.6	242
角度	130	140	150	160	170	180
B 值	224	227	235.6	202	181	224








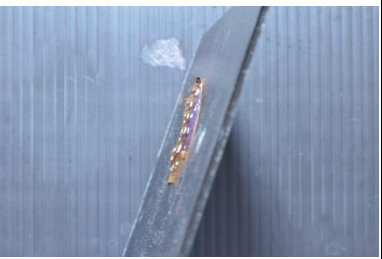
(二) 將數據轉化為折線圖，圖表如下。



(三) 結果發現，在相機固定時，隨著垂直面角度的改變，紫斑蝶翅膀的幻色情形不同，在 30 度最低，在 110-120 度最高。

(四) 紫斑蝶不同角度之幻色情形照片。



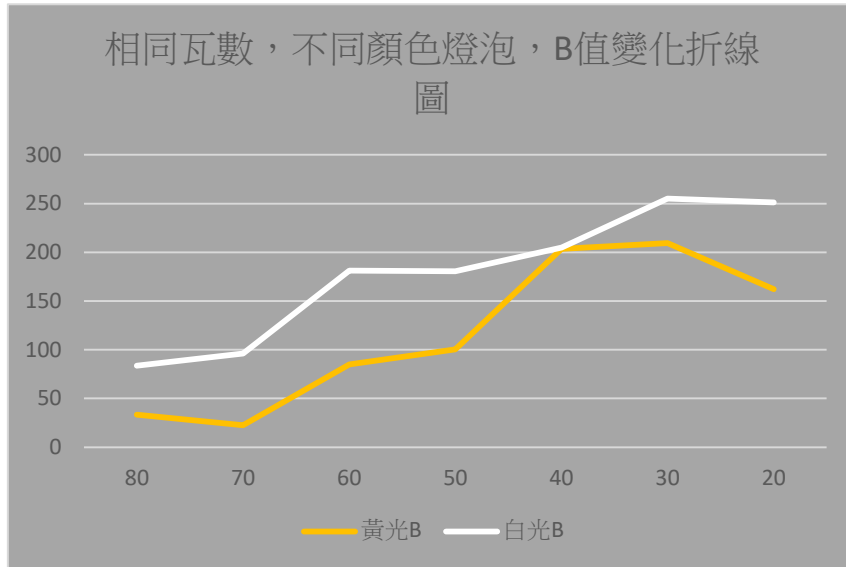
		
100 度幻色情形	110 度幻色情形	120 度幻色情形
		
130 度幻色情形	140 度幻色情形	150 度幻色情形
		
160 度幻色情形	170 度幻色情形	
(使用之照片為本次實驗中拍攝)		

3、【研究三】在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，探究不同顏色燈泡與紫斑蝶幻色呈現的關係。

(一) 將紫斑蝶翅膀置於 13W 黃光與 13W 白光下，拍攝幻色照片，取固定位置進行 RGB 分析，分別於 3 日收集數據，再將其平均，結果如下。

角度	80	70	60	50	40	30	20
黃光 B 平均值	33.3	22.6	85	100.3	203.6	209.6	162
白光 B 平均值	83.6	96	181.3	180.6	205	255	251

(二) 將數據轉化為折線圖，圖表如下。



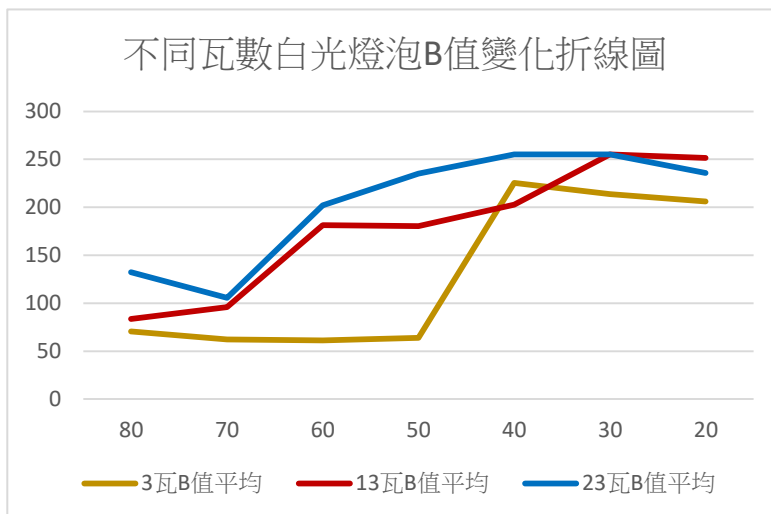
(三) 結果發現 13W 白光之 B 值高於 13W 黃光之 B 值

4、【研究四】在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，探究不同瓦數燈泡與紫斑蝶幻色呈現的關係。

(一) 將紫斑蝶翅膀置於 3W、13W、23W 白光下，拍攝幻色照片，取固定位置進行 RGB 分析，分別於 3 日收集數據，再將其平均，結果如下。

角度	80	70	60	50	40	30	20
3 瓦 B 值平均	70.6	62.3	61.3	64	225.3	213.6	206
13 瓦 B 值平均	83.6	96	181.3	180.5	202.6	255	251.6
23 瓦 B 值平均	132.3	105.6	202	235	255	255	235.6

(二) 將數據轉化為折線圖，圖表如下。



(三) 結果發現 23W 燈泡之 B 值均高於 3W 燈泡之 B 值。

伍、 討論

1、 為什麼不同的角度觀看到的紫斑蝶幻色情形不同？

紫斑蝶翅膀的幻色主要來自於光線的反射，根據單向反射，入射線等於反射線，而拍照的相機就如同我們的眼睛，當光線經過翅膀反射亦會依循反射定律，將光線射入眼睛，當蝴蝶翅膀平放時(0 度)，光線從正上方射入，根據反射定律，入射線等於反射線，此時反射光線約 0 度，相機的位置無法接收到反射之光線，因此沒有拍攝到幻色，隨著角度調整，同時依循反射定律，入射線等於反射線，當相機剛好在反射線位置，幻色的拍攝效果最好。

蝴蝶翅膀的鱗片應為不規則面，其反射屬漫反射，當光線經反射定律進入相機時，其幻色效果最好。

2、 為什麼要設計暗箱？

在實驗過程中，周遭的環境或是當天的天氣陰晴，皆有可能干擾到實驗結果，透過暗箱的設計，能夠比較有效的隔絕室內燈光、人影或是天氣陰晴的干擾，而且能夠控制光源只來自燈泡，降低實驗的干擾因素，增加實驗的效度。

3、 我們捉紫斑蝶，並將其翅膀剪下，這樣的過程是不是違反生態教育的概念？

在本實驗中，所採用的紫斑蝶翅膀是由蝴蝶館提供的「去年高速公路上蒐集的遭高速撞擊的蝴蝶屍體」，紋白蝶的翅膀則是當年度捕捉。

以生命的目的而言，紫斑蝶的成蟲目的是交配與繁衍，並不是生長，所以蝴蝶的翅膀被剪了之後，雖然他失去了活動的能力，但其實牠的生命週期原本就已經到尾聲。

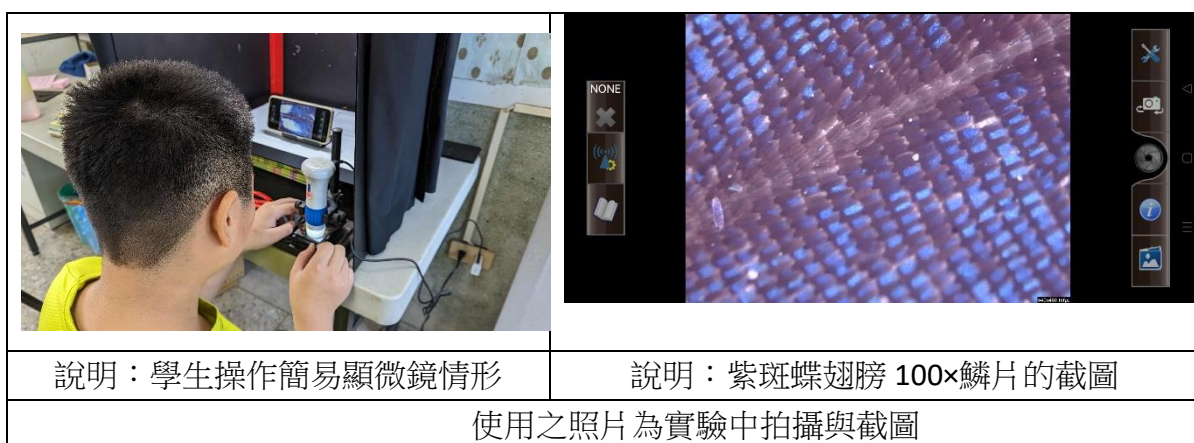
科學研究的道路上，不免會有採樣的過程，然而以一對蝴蝶大約有 200 個後代而言，採一隻蝴蝶的翅膀來進行研究並不會造成族群的滅絕，真正傷害紫斑蝶的其實是農藥與棲地的改變。本次科展是因為有觀察之需求，才捕捉紋白蝶，而非玩耍與嬉鬧，且在製作標本過程中，先將蝴蝶凍死，以避免蝴蝶有太多的掙扎。

唯有真正了解蝴蝶的生命密碼，才能夠守護蝴蝶，而實驗的目的，就是在了解蝴蝶的不同面向，建立蝴蝶的系統知識，進而推廣與保育。

4、紫斑蝶為什麼會有幻色的情形？

相關文獻中提到，紫斑蝶幻色，是由光線通過蝴蝶翅膀鱗片上排列整齊的多層樹枝狀結構所呈現出的。這些細小的樹枝狀結構，其間距約在 70~100 奈米(nm)，當光線照射時，依照反射定律，能反射特定波長的光，因此我們就能看到這些蝴蝶的翅膀在陽光下呈現出繽紛多色的樣貌，這稱為物理色，又或是結構色，而不同的結構組合可以反射呈現出不一樣的圖案及顏色，隨著觀看的角度不同，顏色也會跟著不一樣。

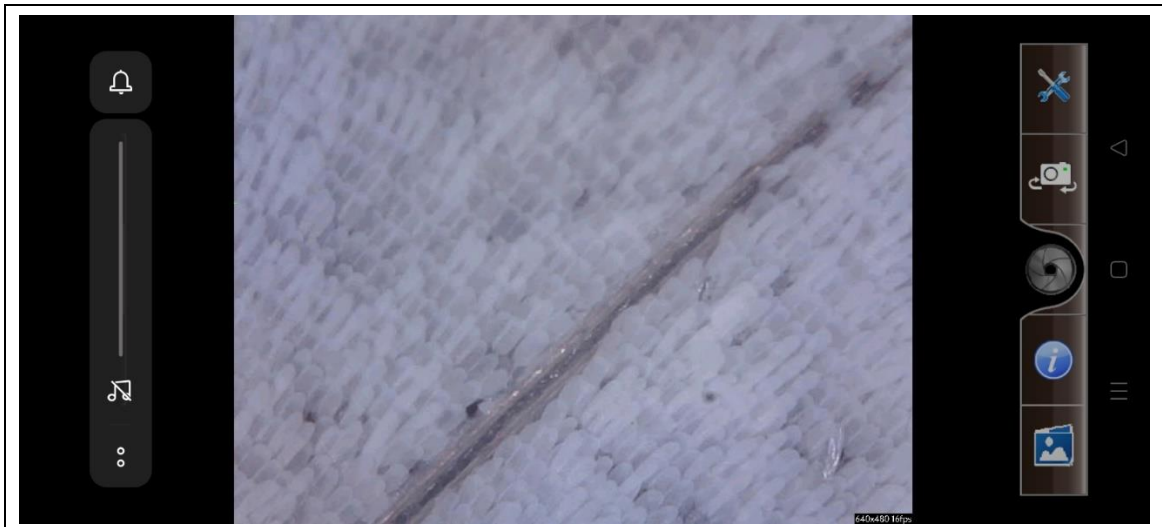
實際使用簡易電子顯微鏡(100X)觀察紫斑蝶的翅膀，發現有許多藍色的小鱗片(如圖所示)



5、如果「討論 4」成立，那紋白蝶的翅膀上一樣有鱗片，為什麼紋白蝶沒有幻色的情形？

討論探究紋白蝶沒有幻色的情形，可能原因有三。原因一，紋白蝶的翅膀中沒有這種「光子晶體」結構。原因二，因為白色，所以幻色不明顯。原因三，鱗片的結構不同。

實際使用簡易電子顯微鏡(100X)觀察紋白蝶的翅膀，發現有許多白色的小鱗片(如圖所示)。



說明：紋白蝶翅膀 100x鱗片的截圖

(使用之照片為實驗中手機截圖)

原因一，根據文獻中，紫斑蝶顏色大致可分為腹面的化學色（色素色）及背面的物理色（結構色），背面的物理色鱗片具有此種類似「光子晶體」的網狀結構其週期在數百奈米左右，可反射部分顏色的光，而紋白蝶的翅膀中可能沒有這種「光子晶體」結構，導致沒有幻色的情形。

原因二，也有可能是因為紋白蝶翅膀是白色，反射出來的光線也是白色，因此就算有幻色也不如紫斑蝶的黑色-藍紫色明顯。

原因三，實際觀察紋白蝶翅膀時，發現紋白蝶的翅膀時，發現在觀察之後，手上及觀察版上都是白色的粉末，這些白色的粉末為蝴蝶之鱗片，但其附著情況不如紫斑蝶，是否因此限制了幻色的情況。

6、實驗中為何採用端紫斑蝶的翅膀，而不用其他紫斑蝶的翅膀？

台灣目前現存的四種紫斑蝶中，以端紫斑蝶的幻色區最大最明顯，加上從高速公路收集而來的紫斑蝶中，正好端紫斑蝶的翅膀是最完整的，因此採用端紫斑蝶進行本次實驗觀察。

7、本研究中有那些不足的地方可以調整改進，讓研究更加完整，符合科學精神？

本次實驗中以紫斑蝶的幻色(物理色)進行觀察，如果能夠輔以化學色的實驗設計，

實驗面相與資料會更加完整。

在觀察中使用的是簡易的數位顯微鏡，然而實際操作時卻發現焦距不容易調整，而且倍率也不確定(只能確定 25-100 倍)，對於紫斑蝶翅膀鱗片的觀察相較於其他文獻，較不嚴謹。學校若要長期且有系統的推動科學探究，購買電子顯微鏡，於將來的觀察中，能夠更明確的觀察到紫斑蝶翅膀鱗片的結構。

8、研究紫斑蝶的翅膀的幻色，對於紫斑蝶生存環境會有什麼影響？

台灣曾經是蝴蝶王國，紫斑蝶更是一種習以為常的生物。然而在農業、工業、商業的發展中，「人定勝天」的態度破壞了生物的棲息地，使得蝴蝶王國的美名不再。

學校推動紫斑蝶的課程已經有許多年，透過課程的教導，我們了解了紫斑蝶的美麗與哀愁，知道紫斑蝶會被寄生，紫斑蝶會被捕食，更了解紫斑蝶最大的敵人，其實是人類的經濟開發活動。

科學展覽只是一個主題的探究，然而透過此主題的探究與文獻的回顧，我們獲得了更多相關的知識，建立系統概念，了解紫斑蝶的困境，進而願意保護紫斑蝶的生態環境。

保護的紫斑蝶的環境，其實也間接了保護了其他生物的生存環境，讓友善環境不只是口號是一種生活實踐。唯有不斷地教育與推廣，才能影響更多人一起友善生物環境，維持生態系的平衡與發展。

陸、 結論

- 1、 紫斑蝶的幻色情形受到視覺角度、蝴蝶翅膀角度、太陽角度、光線強弱等因素影響。隨著紫斑蝶翅膀拍動時所呈現的不同角度，而產生光線的反射，使紫斑蝶的翅膀閃耀著藍紫色。
- 2、 當反射光線會依循反射定律，在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，在水平面 30 度時，垂直面 110-120 度時，反射光線最佳，最容易欣賞到紫斑蝶的翅膀的幻色。
- 3、 觀賞紫斑蝶時，以俯角觀賞，才能夠欣賞到紫斑蝶美麗的幻色。以仰角欣賞，只會看見腹部的褐色或黑色。
- 4、 白光燈泡的幻色情形優於黃光燈泡，觀賞紫斑蝶時，推測上午或中午欣賞紫斑蝶，其幻色情形優於傍晚。
- 5、 紫斑蝶的幻色與光線強烈有關，在天氣晴朗時，較容易觀察到紫斑蝶幻色。
- 6、 生物體上的結構色彩，通常是針對生物在自然光照環境中量身訂製，有著不同的作用，具有通訊、隱蔽、求偶等功能，是生物適應自然環境的重要手段，這種現象在甲蟲的鞘翅、蝴蝶的鱗片、鳥類的羽毛、水生動物的殼與哺乳動物的皮膚表面可看見。
- 7、 生活中結構色的應用現在人類也利用仿生科技的技術進步，將如同蝴蝶鱗片結構一般，具有特殊週期性排列結構的物質，應用在許多光電元件和材料上，發展出如信用卡與紙鈔的雷射防偽技術，甚至是能展現耀眼光澤的布料與烤漆。
- 8、 透過探究與課程，更加了解紫斑蝶的生命，保護的紫斑蝶的環境，其實也間接保護了其他生物的生存環境，讓友善環境不只是口號，而是一種生活實踐。
- 9、 建議：若有後續研究，可以以紫斑蝶「化學色」進行探究，讓研究面向更加完整。提升實驗器材，以高倍率的電子顯微鏡進行觀察，可以更加仔細觀察到鱗片的結構，探究其與幻色的關係。

柒、參考文獻資料

1、【書籍】

- (一) 紫斑蝶；詹家龍著(2008，晨星出版)。
- (二) 台北蝴蝶導覽手冊-彩蝶飛；陳燦榮著、徐堉峰審(2006，聯經出版)
- (三) 紫斑蝶達人手冊；雲林縣成功國小(2011.3，成功國小印製)

2、【影片】

- (一) 消失的紫斑蝶；詹家龍(2023)
- (二) 光的反射 Reflection of Light/香港科學
- (三) 均一教育平台-47 2 1 1 光的反射與反射定律

3、【網站】

- (一) 紫蝶生態網。
- (二) 均一教育平台：光的反射
- (三) 維基百科：

4、【歷屆科展之資料】

- (一) 中華民國第 46 屆/蝶鱗的妙用
- (二) 中華民國第 46 屆/幻紫情謎——友蚋斑蝶生態大揭秘
- (三) 中華民國第 47 屆/高潮蝶起
- (四) 2008 國際科展/紫蝶幻影

【評語】 080311

本研究以紫斑蝶的結構色為主題，通過科學觀察實驗，探索不同光線和視覺角度對其幻色效果的影響，並討論了結構色在自然界和人類技術中的應用。

研究選擇了紫斑蝶的結構色這一富有科學價值和實際應用潛力的主題，既能引起學生的興趣，又能結合生物學和物理學知識進行跨學科探討。研究中使用自製暗箱和 RGB 三原色概念進行分析，這種創新的實驗設計展示了學生動手實踐和創新思維的能力。實驗設計合理，考慮到了光線干擾問題，確保了結果的可靠性。

研究詳細記錄了不同視覺角度和光線強度對幻色效果的影響，發現白色光線下的幻色效果最佳。研究不僅探討了紫斑蝶的結構色在自然環境中的適應性，還延伸到人類利用仿生科技的技術進步，將結構色應用於光電元件、雷射防偽技術和材料科學等領域。這樣的理論和實踐結合，使學生更好地理解科學知識的應用價值。

作為校本課程的一部分，這項研究有效提升了學生對紫斑蝶和結構色的理解，並通過實踐和探究過程激發了他們的科學興趣和創造力。這樣的教育模式對於培養學生的科學素養和探究能力具有重要意義。

研究主題：

本研究探討了不同視覺角度對紫斑蝶幻色現象的影響，對未來材料開發和仿生技術具有重要意義。

創意、學術或實用價值：

本研究以紫斑蝶的結構色為基礎，探討了光線漫射現象，並比較了不同燈泡顏色和瓦數對幻色現象的影響，具有學術價值和實用潛力。

科學方法之適切性：

作者明確說明了研究目的，詳細列出實驗材料與器材，並提供相關照片佐證實驗結果，採用實際觀察等方式紀錄資料，得出不同視角、燈泡顏色與瓦數對幻色現象的影響等結論，具有學術價值。

未來研究建議：

1. 擴展實驗範圍，增加數據量。
2. 探索更多應用領域，深化研究。
3. 加強理論知識的講解，進一步提升研究的深度和廣度。

具體改進建議：

1. 比較白光、黃光燈泡與太陽光的差異。
2. 探討生物體死亡後的幻色是否有影響。

3. 多比較與過去他人研究結果之差異。

綜上所述，這項研究展示了很高的教育價值和科學探究精神，但未來可以通過擴展實驗範圍、增加數據量、探索更多應用領域和加強理論知識講解，進一步提升研究的深度和廣度。

作品簡報



「紫耀」你知道

紫斑蝶幻色條件之探討

摘要

紫斑蝶生態課程為我們的校本課程，然而在一次解說導覽的活動中，發現我們對於紫斑蝶的了解只流於資料記憶，於是展開了這一場科學觀察實驗。實驗設計中為了要避免光線干擾，我們自製暗箱，並利用RGB三原色的概念進行分析。發現在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，不同的視覺角度，所呈現的幻色效果不一樣；光線的強弱也影響幻色的呈現；白色光線與黃色光線相較之下，白光的幻色效果較佳。透過探究歷程，了解紫斑蝶的結構色彩，是適應自然環境的重要方法，生活中也存在結構色的應用，現在人類也利用仿生科技的技術進步，將如同蝴蝶鱗片結構一般，應用在許多光電元件和材料上，發展出如信用卡與紙鈔的雷射防偽技術，甚至是能展現耀眼光澤的布料與烤漆。

壹、前言

(含研究動機、目的、文獻回顧)

1、研究動機

紫斑蝶一直都是學校的校本課程，我們從一年級開始，就開始接觸關於紫斑蝶的各種知識，學校也積極培養我們進行導覽解說，將紫斑蝶的知識分享給更多人知道。去年紫斑蝶季，我們在學校擺攤導覽。某國小的學生爬龍過脈到我們學校，與我們校際交流，我們進行導覽解說，介紹紫斑蝶的一生。當我們細細介紹紫斑蝶的翅膀會呈現出藍紫色的幻色時，忽然有一位老師問我們「為什麼」會有幻色的情形？「什麼樣的情況下」幻色會最明顯？我們當場啞口無言的看著我們老師。為了把這個情形弄清楚，也剛好遇到畢業小論文的課程，於是老師就帶著六年級的學生，進行紫斑蝶幻色的探究。

2、研究目的

- (一) 在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，探究不同視覺角度(水平軸)與紫斑蝶幻色呈現的關係。
- (二) 在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，探究不同視覺角度(垂直軸)與紫斑蝶幻色呈現的關係。
- (三) 在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，探究顏色燈泡與紫斑蝶幻色呈現的關係。
- (四) 在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，探究不同瓦數燈泡對於紫斑蝶幻色之影響。

3、文獻回顧

(一) 紫斑蝶

紫斑蝶類隸屬於昆蟲綱(Insecta) > 鱗翅目(Lepidoptera) > 蛺蝶科(Nymphalidae) > 斑蝶亞科(Danainae) > 紫斑蝶屬(Euploea)，展翅寬度約4-8公分，中大型蝶種。牠們春夏在全台各地繁殖，郊區、都會區都很容易觀察，冬天則會在台灣南部過冬，其中高雄茂林是主要的紫蝶聚集越冬區域。(資料來源：紫蝶生態網。)

共同特徵是前翅背面紫色，並且帶有物理光澤；舞動翅膀時，蝶翼上的鱗粉經由陽光折射，會因為角度的不同，而呈現出或淡紫、或豔紫、或亮藍的夢幻般紫色光彩；耀眼、奇幻、流竄成河的紫色大軍，造就了紫蝶幽谷的美名，亦是魯凱族世代相傳之寶藏。

紫斑蝶絨布般質感的翅膀上，滿佈著能夠產生類似三稜鏡分光作用的「物理色鱗片」，當光線通過這些鱗片後會產生繞射、反射、色散等物理現象，於是隨著觀察方位及陽光照射角度的改變，紫斑蝶翅膀便會呈現出各種不同的顏色，日本昆蟲專家將之稱為「幻色」。近年來有汽車業將這個原理成功運用在汽車烤漆上，並強調是一種可取代高污染化學烤漆的環保原料。

台灣的紫斑蝶一共有五種，分別為大紫斑蝶、小紫斑蝶、斯氏紫斑蝶、圓翅紫斑蝶、端紫斑蝶。其中，大紫斑蝶以已經滅絕。(訪談；廖金山老師，20231207)

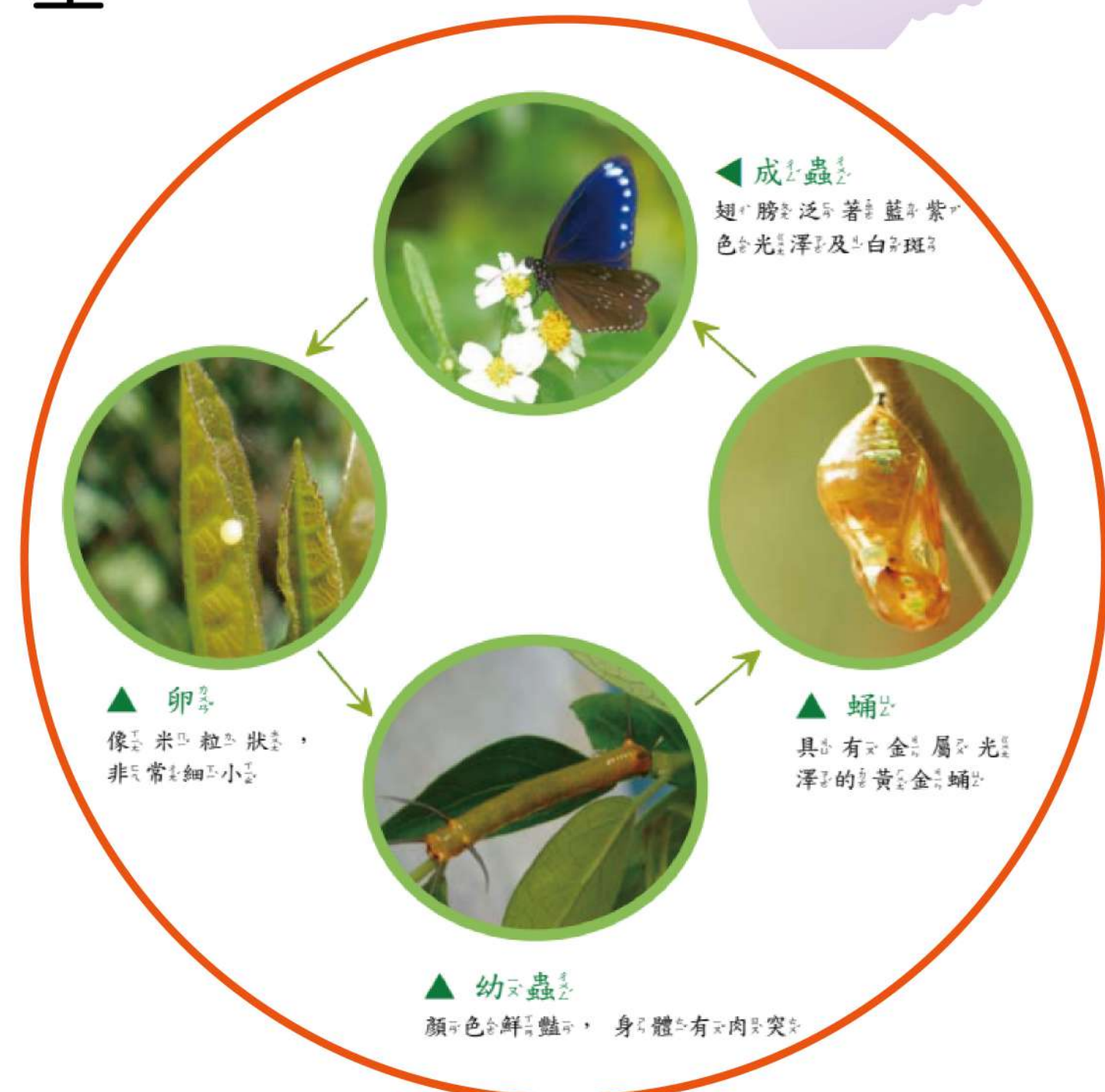
【資料來源：紫斑蝶達人手冊P6】



(二) 紫斑蝶的一生

紫斑蝶是台灣中、低海拔地區常見的蝶種，牠和所有的蝴蝶一樣，一生必須經歷卵、幼蟲、蛹、成蟲四個階段，是一種屬於「完全變態」的昆蟲。

【資料來源：紫斑蝶達人手冊P5】



(三) 紫斑蝶的越冬行為

因為紫斑蝶是熱帶起源的蝴蝶，所以冬天時會來到南台灣溫暖的山谷裡避冬，牠們死亡的臨界溫度是4°C，活耀活動溫度是25°C以上，目前全世界的兩個最大型的越冬蝴蝶谷其一是墨西哥的帝王斑蝶谷、另一個就是台灣的紫蝶幽谷。

紫斑蝶遷移路徑至今仍只有少數片段證據，遷移的旅程估計超過150公里，存活的時間則可超過半年，近期又陸續在嘉義縣梅山、里佳、達那伊谷一帶、雲林縣古坑鄉、彰化縣八卦山區及台中大肚山區等地，觀察到斑蝶類遷移蝶道。

根據近年來(2001-2005)調查資料，研究人員已歸納出紫斑蝶全年遷移模式，並紀錄到宛如蝶河般每分鐘通過超過一萬隻紫斑蝶的驚人生態現象。整體來說，紫斑蝶每年至少會出現三次大規模遷移蝶道：分別為初春北移、二次遷移、南遷渡冬。路線圖如下：

西部蝶道

每年紫斑蝶會依循固定路線離開越冬棲地。紫斑蝶北返飛行的蝶道，路線從茂林開始最早被記錄，經過寶來、月世界、台南曾文水庫、台南關子嶺、茶山、達娜伊谷、石桌、雲林林內鄉、彰化八卦山、台中大肚山、再到苗栗竹南海邊，銜接成一條蝴蝶的高速公路。

東部蝶道

另一條遷徙路線為棲息在台東大武溪谷的越冬紫斑蝶，循東部海岸線一路北遷，到花蓮立霧溪口附近，再到宜蘭，最遠可達新北市龍洞，飛行距離超過300公里；少部分會沿大武溪上游越過中央山脈南端的大漢山，再往台灣西部遷移。

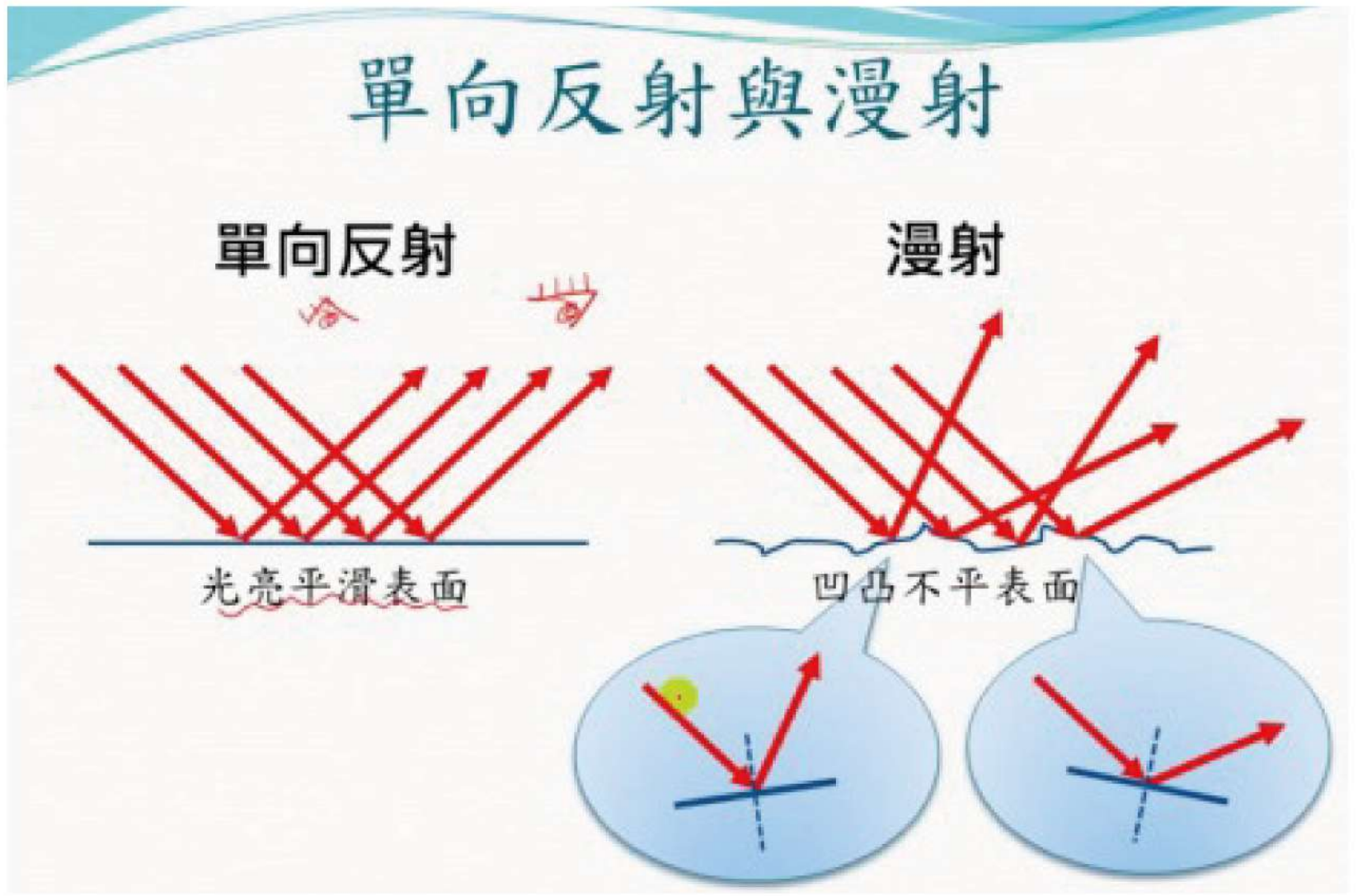
【蝶道示意圖；圖片來源：紫蝶生態網】

(四) 紫斑蝶顏色

紫斑蝶翅膀上的顏色大致可分為腹面的化學色(色素色)及背面的物理色(結構色)，背面的物理色鱗片具有此種類似光子晶體的網狀結構其週期在數百奈米左右，可反射部分顏色的光，其餘顏色的光則會穿透過去，會隨著光線的照射及觀察者的角度不同而呈現不同的顏色，因此又被稱為「幻色」，而幻色的原理是光線的照射下鱗片的溝槽狀結構所產生的繞射、干涉、散射現象，類似三稜鏡的原理，而腹面的化學色則無此現象。(引用自奈米與自然界網頁與紫斑蝶生態網)

(五) 光線反射的相關原理

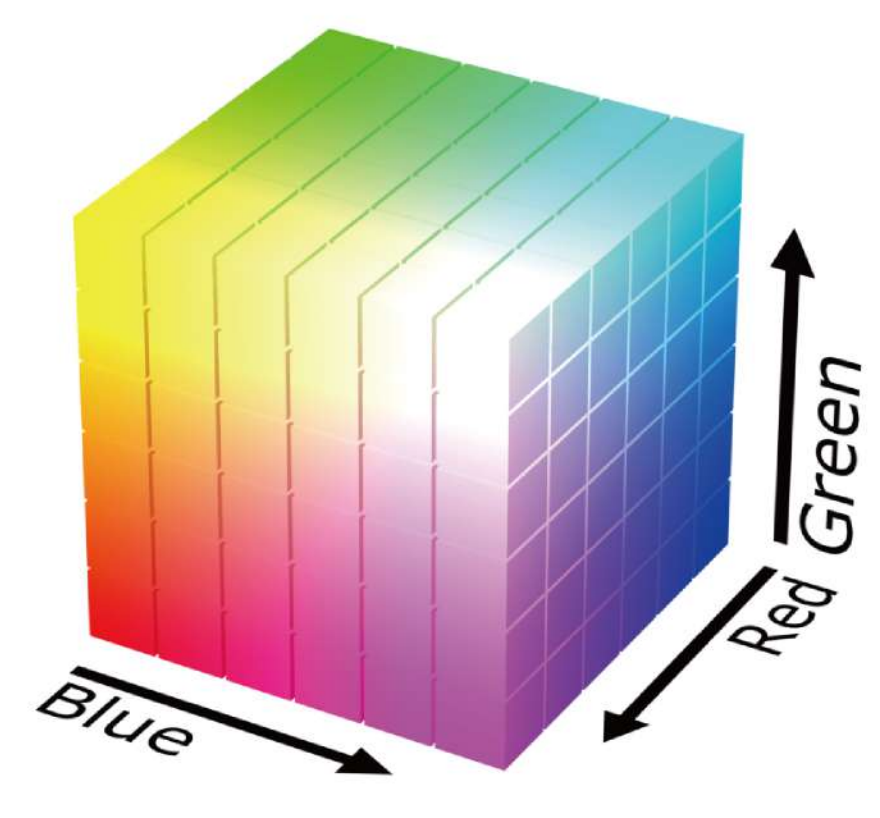
1. 光由一介質遇障礙物或另一介質時，在界面處改變方向，射回原介質的現象。
2. 萬花筒中的成像，即是光的反射現象所造成。
3. 反射的種類：
 - (1) 單向反射：
 - a. 平行光入射，遇到光滑反射面，其反射光亦為平行光。
 - b. 平面鏡的反射屬於單向反射。
 - (2) 漫射(多重反射)：
 - a. 平行光遇到凹凸不平的反射面，反射光各方向皆不同。
 - b. 我們能見到物體，是由於物體經漫射的結果。
 - c. 日出前、日落後，依然能見物體，是漫射的結果。



【單向反射與漫射示意圖；圖片來源：均一教育平台】

(六) RGB原理與應用

RGB被稱為「三原色光模式」，主要是顯示於電子螢幕上，經由紅(R)、綠(G)、藍(B)，三種色光混合而成也稱為光的三原色，而當這三種顏色重疊後可以打造出無數種的顏色，數值的範圍從0-255，當所有成分為0時為純黑色，所有數值都為255時，則為純白色，所以當顏色疊加越多時就會越明亮；如果你的設計軟體選擇為螢幕時那麼色彩模式會自動為RGB模式。



【RGB座標空間示意圖；資料來源：維基百科】

(七) 國小科展關於幻色的相關研究

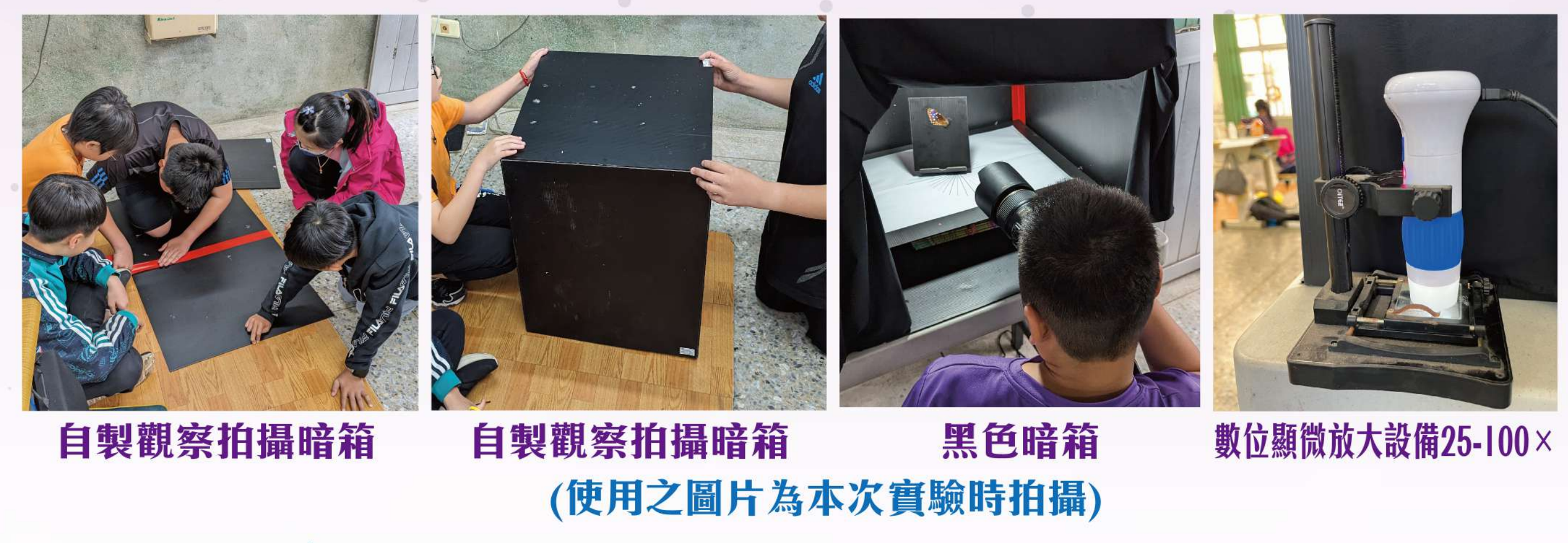
上網搜尋相關研究，發現以下幾筆資料，整理如下表：

<p>中華民國第46屆 蝶鱗的妙用</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 由鱗片的排列組成每種蝴蝶特有的斑紋與顏色。 2. 有保護翅膀的功效。 3. 有保護生命的功用：當蝴蝶翅膀被蜘蛛絲或人類抓到時，可藉由灑落鱗片，來增加逃脫的機會。 4. 能調節溫度：鱗片可以降低翅膀吸收熱能，使夏日中午，蝴蝶的溫度不會上升太快，在冬天時，能使溫度下降不會太快，使蝴蝶的溫度不會變化太大。 5. 能當做蝶種分類依據。
<p>中華民國第46屆 幻紫情謎—— 友蛸斑蝶生態 大揭秘</p>	<p>台灣茂林的紫蝶幽谷和墨西哥帝王斑蝶谷被國際學者並列為世界兩大越冬型蝶谷，紫斑蝶及青斑蝶也是我們常見的蝶種，對其生態現象可做深入的探究。本研究以基隆友蛸山區為調查樣區，調查辨識當地的斑蝶蝶種、食草、和蜜源植物，並利用捕捉標記法，調查樣區斑蝶成蟲秋季到春季的數量消長，在當地越冬的種類及個體。藉由這些調查及觀察記錄，來探討斑蝶的生態現象，進而瞭解其珍貴性，了解保護蝴蝶必先保護其生存的環境。</p>
<p>中華民國第47屆 高潮蝶起</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 蝴蝶的翅膀由很多鱗片組成。它的顏色有物理色和色素色，我們的實驗證明了這兩種顏色是不同的。 2. 鳳蝶科的鱗片是很多樣化的，大部分鳳蝶鱗片的種類，都在六種以上。斑蝶科的鱗片，都在三種以上。 3. 挾蝶科鱗片的種類，在五種以上。蛺蝶科鱗片的種類，在三種以上。 4. 粉蝶科鱗片的種類，在兩種以上。蛇目蝶科的鱗片，在兩種以上。環紋蝶科的鱗片，都在兩種以上。小灰蝶科的鱗片，也都在兩種以上。 5. 蝴蝶鱗片的構造，在物種分類上，也是相符合的；在同一科蝴蝶的鱗片，有很高的相似性。
<p>2008國際科展 紫蝶幻影</p>	<p>翅膀之所以有幻色現象則是因鱗片等微結構的不同。其中圓翅紫斑蝶、小紫斑蝶在幻色區域是由同種較寬圓的鱗片排列而成，無幻色區由細長與寬圓鱗片交錯排列而成；端紫斑蝶則是皆由兩種鱗片交錯排列；斯氏紫斑蝶則在無幻色區域是由兩種較寬圓的鱗片交錯排列而成，幻色區由寬圓鱗片排列而成。</p>

貳、研究設備及器材

1、本實驗所需設備及器材如下所示

高畫質數位單眼相機1台、紫斑蝶翅膀、黑色紙卡、量角器、自製暗箱、手繪旋轉角度參考圖，手機架1架、3W、13W、23W畫光燈泡、13W黃光燈泡、分析軟體PHOTOCAP，厚書本、數位顯微放大設備25-100×、紀錄表



自製觀察拍攝暗箱 自製觀察拍攝暗箱 黑色暗箱 數位顯微放大設備25-100× (使用之圖片為本次實驗時拍攝)

參、研究過程或方法

【研究一】在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，探究不同視覺角度(水平軸)與紫斑蝶幻色呈現的關係。

- (一) 收集紫斑蝶翅膀。
- (二) 將紫斑蝶翅膀貼在黑色紙板上。
- (三) 固定數位相機角度，與蝴蝶翅膀呈水平。
- (四) 將貼有翅膀的黑色紙卡放在手機架上。
- (五) 調整手機架為與桌面(書面)的夾角。
- (六) 將所要拍攝的蝴蝶翅膀放入自製暗箱中。
- (七) 利用數位相機拍攝不同角度蝴蝶翅膀照片。
- (八) 將照片使用影像軟體PHOTOCAP分析，分析照片中幻色的效果。
- (九) 蒐集三次測量之數據，再進行平均與製表。



使用量角器確認觀察角度

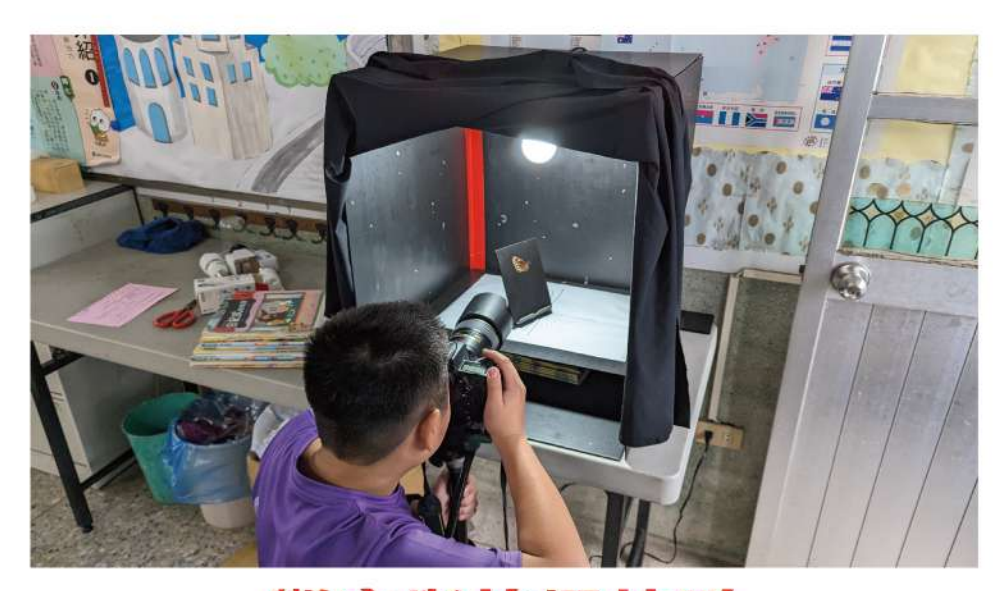


觀察情形

(使用之圖片為本次實驗時拍攝)

【研究二】在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，探究不同視覺角度(垂直軸)與紫斑蝶幻色呈現的關係。

- (一) 收集紫斑蝶翅膀。
- (二) 將紫斑蝶翅膀貼在黑色紙板上。
- (三) 固定數位相機角度，與蝴蝶翅膀呈水平。
- (四) 將貼有翅膀的黑色紙卡放在手機架上。
- (五) 繪製旋轉角度參考圖，並貼在黑色PP板上，然後將PP板放入暗箱。
- (六) 調整手機架為與桌面(書面)的夾角。
- (七) 將所要拍攝的蝴蝶翅膀放入自製暗箱中。
- (八) 利用數位相機拍攝不同角度(利用旋轉角度參考圖)蝴蝶翅膀照片。
- (九) 將照片使用影像軟體PHOTOCAP分析，分析照片中幻色的效果。
- (十) 蒐集三次測量之數據，再進行平均與製表。



觀察與拍攝情形



使用旋轉角度參考圖確定角度 (使用之圖片為本次實驗時拍攝)

【研究三】在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，探究不同顏色燈泡與紫斑蝶幻色呈現的關係。

- (一) 收集紫斑蝶翅膀。
- (二) 將紫斑蝶翅膀貼在黑色紙板上。
- (三) 固定數位相機角度，與蝴蝶翅膀呈水平。
- (四) 將貼有翅膀的黑色紙卡放在手機架上。
- (五) 調整手機架為與桌面(書面)的夾角。
- (六) 將所要拍攝的蝴蝶翅膀放入自製暗箱中。
- (七) 更換不同顏色的13W燈泡。
- (八) 利用數位相機拍攝不同顏色的13W燈泡下蝴蝶翅膀照片。
- (九) 將照片使用影像軟體PHOTOCAP分析，分析照片中幻色的效果。
- (十) 蒐集三次測量之數據，再進行平均與製表。



拍攝13W白光情形

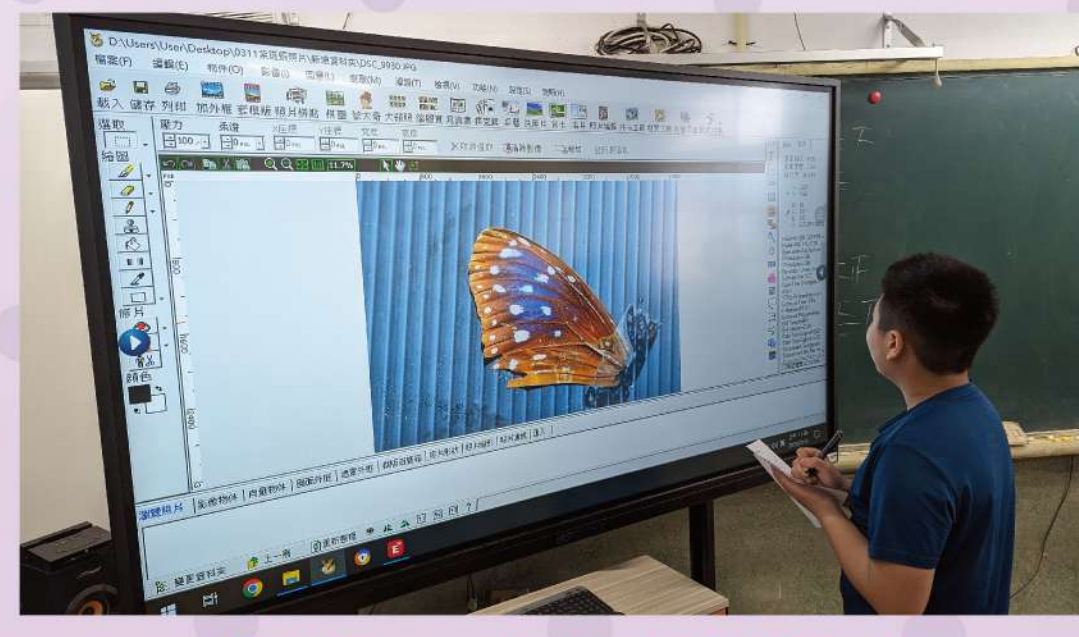


拍攝13W黃光情形

(使用之圖片為本次實驗時拍攝)

【研究四】在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，探究不同瓦數燈泡與紫斑蝶幻色呈現的關係。

- (一) 收集紫斑蝶翅膀。
- (二) 將紫斑蝶翅膀貼在黑色紙板上。
- (三) 固定數位相機角度，與蝴蝶翅膀呈水平。
- (四) 將貼有翅膀的黑色紙卡放在手機架上。
- (五) 調整手機架為與桌面(書面)的夾角。
- (六) 將所要拍攝的蝴蝶翅膀放入自製暗箱中。
- (七) 更換不同瓦數畫光燈泡，分別為3W、13W、23W。
- (八) 利用數位相機拍攝不同瓦數畫光燈泡下蝴蝶翅膀照片。
- (九) 將照片使用影像軟體PHOTOCAP分析，分析照片中幻色的效果。
- (十) 蒐集三次測量之數據，再進行平均與製表。



進行RGB值的記錄情形

(使用之圖片為本次實驗時拍攝)

肆、研究結果

【研究一】在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，探究不同視覺角度(水平軸)與紫斑蝶幻色呈現的關係。

- (一) 將不同視覺角度(水平軸)的幻色照片，取固定位置進行RGB分析，分別於3日收集數據，再將其平均，結果如下。

角度	80度			70度			60度			50度			40度			30度			20度		
RGB	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
第一次	83	53	51	136	93	113	123	88	108	119	89	113	118	81	98	91	139	255	104	121	255
第二次	115	86	117	128	98	122	124	130	250	115	168	255	136	192	255	130	202	255	140	169	255
第三次	92	58	83	77	48	53	113	94	186	98	79	174	99	154	255	98	130	255	86	96	245
平均	96.6	65.6	83.6	113.6	79.6	96	120	104	181	109	112	180.6	117	142	202	106	157	255	110	128.6	251.6

【13W白光之資料整理】

伍、討論

1、為什麼不同的角度看到的紫斑蝶幻色情形不同？

紫斑蝶翅膀的幻色主要來自於光線的反射，根據單向反射，入射線等於反射線，而拍照的相機就如同我們的眼睛，當光線經過翅膀反射亦會依循反射定律，將光線射入眼睛，當蝴蝶翅膀平放時(0度)，光線從正上方射入，根據反射定律，入射線等於反射線，此時反射光線約0度，相機的位置無法接收到反射之光線，因此沒有拍攝到幻色，隨著角度調整，同時依循反射定律，入射線等於反射線，當相機剛好好在反射線位置，幻色的拍攝效果最好。

蝴蝶翅膀的鱗片應為不規則面，其反射屬漫反射，當光線經反射定律進入相機時，其幻色效果最好。

2、為什麼要設計暗箱？

在實驗過程中，周遭的環境或是當天的天氣陰晴，皆有可能干擾到實驗結果，透過暗箱的設計，能夠比較有效的隔絕室內燈光、人影或是天氣陰晴的干擾，而且能夠控制光源只來自燈泡，降低實驗的干擾因素，增加實驗的效度。

3、我們捉紫斑蝶，並將其翅膀剪下，這樣的過程是不是違反生態教育的概念？

在本實驗中，所採用的紫斑蝶翅膀是由蝴蝶館提供的「去年高速公路上蒐集的遭高速撞擊的蝴蝶屍體」，紋白蝶的翅膀則是當年度捕捉。以生命的目的而言，紫斑蝶的成蟲目的是交配與繁衍，並不是生長，所以蝴蝶的翅膀被剪了之後，雖然他失去了活動的能力，但其實牠的生命週期原本就已經到尾聲。

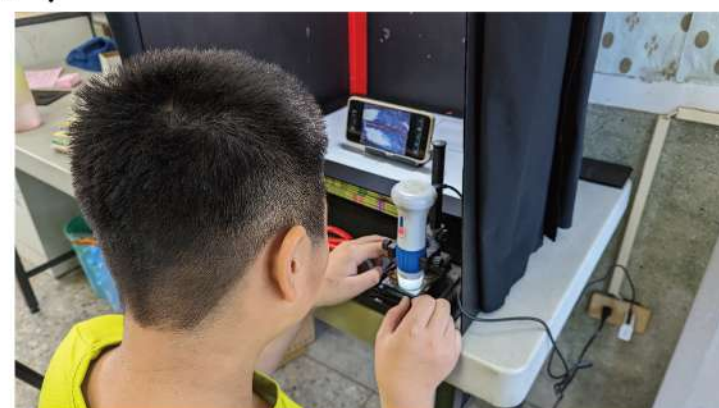
科學研究的道路上，不免會有採樣的過程，然而以一對蝴蝶大約有200個後代而言，採一隻蝴蝶的翅膀來進行研究並不會造成族群的滅絕，真正傷害紫斑蝶的其實是農藥與棲地的改變。本次科展是因為有觀察之需求，才捕捉紋白蝶，而非玩耍與嬉鬧，且在製作標本過程中，先將蝴蝶凍死，以避免蝴蝶有太多的掙扎。

唯有真正了解蝴蝶的生命密碼，才能夠守護蝴蝶，而實驗的目的，就是在了解蝴蝶的不同面向，建立蝴蝶的系統知識，進而推廣與保育。

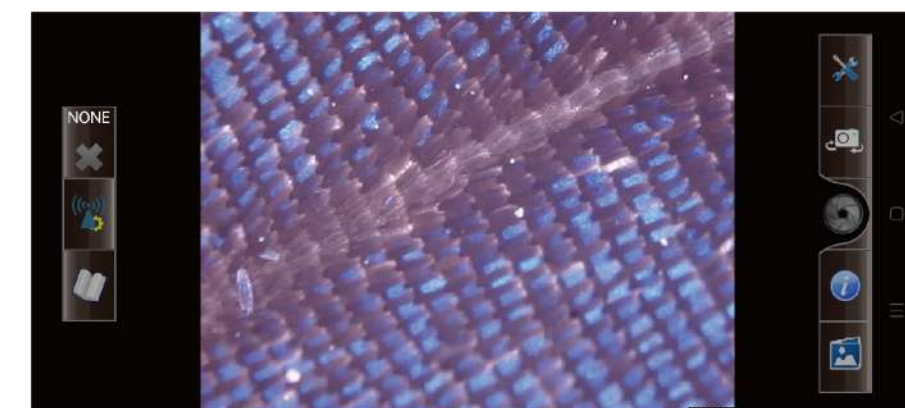
4、紫斑蝶為什麼會有幻色的情形？

相關文獻中提到，紫斑蝶幻色，是由光線通過蝴蝶翅膀鱗片上排列整齊的多層樹枝狀結構所呈現出的。這些細小的樹枝狀結構，其間距約在70~100奈米(nm)，當光線照射時，依照反射定律，能反射特定波長的光，因此我們就能看到這些蝴蝶的翅膀在陽光下呈現出繽紛多色的樣貌，這稱為物理色，又或是結構色，而不同的結構組合可以反射呈現出不一樣的圖案及顏色，隨著觀看的角度不同，顏色也會跟著不一樣。

實際使用簡易電子顯微鏡(100X)觀察紫斑蝶的翅膀，發現有許多藍色的小鱗片(如圖所示)



學生操作簡易顯微鏡情形



紫斑蝶翅膀100x鱗片的截圖

(使用之照片為實驗中拍攝與截圖)

5、如果「討論4」成立，那紋白蝶的翅膀上一樣有鱗片，為什麼紋白蝶沒有幻色的情形？

討論探究紋白蝶沒有幻色的情形，可能原因有三。原因一，紋白蝶的翅膀中沒有這種「光子晶體」結構。原因二，因為白色，所以幻色不明顯。原因三，鱗片的結構不同。

實際使用簡易電子顯微鏡(100X)觀察紋白蝶的翅膀，發現有許多白色的小鱗片(如圖所示)。



紋白蝶翅膀100x鱗片的截圖

(使用之照片為實驗中手機截圖)

原因一，根據文獻中，紫斑蝶顏色大致可分為腹面的化學色(色素)及背面的物理色(結構色)，背面的物理色鱗片具有此種類似「光子晶體」的網狀結構其週期在數百奈米左右，可反射部分顏色的光，而紋白蝶的翅膀中可能沒有這種「光子晶體」結構，導致沒有幻色的情形。

原因二，也有可能是因為紋白蝶翅膀是白色，反射出來的光線也是白色，因此就算有幻色也不如紫斑蝶的黑色-藍紫色明顯。

原因三，實際觀察紋白蝶翅膀時，發現紋白蝶的翅膀時，發現在觀察之後，手上及觀察版上都是白色的粉末，這些白色的粉末為蝴蝶之鱗片，但其附著情況不如紫斑蝶，是否因此限制了幻色的情況。

6、實驗中為何採用端紫斑蝶的翅膀，而不用其他紫斑蝶的翅膀？

台灣目前現存的四種紫斑蝶中，以端紫斑蝶的幻色區最大最明顯，加上從高速公路收集而來的紫斑蝶中，正好端紫斑蝶的翅膀是最完整的，因此採用端紫斑蝶進行本次實驗觀察。

7、本研究中有那些不足的地方可以調整改進，讓研究更加完整，符合科學精神？

本次實驗中以紫斑蝶的幻色(物理色)進行觀察，如果能夠輔以化學色的實驗設計，實驗面相與資料會更加完整。

在觀察中使用的是簡易的數位顯微鏡，然而實際操作時卻發現焦距不容易調整，而且倍率也不確定(只能確定25-100倍)，對於紫斑蝶翅膀鱗片的觀察相較於其他文獻，較不嚴謹。學校若要長期且有系統的推動科學探究，購買電子顯微鏡，於將來的觀察中，能夠更明確的觀察到紫斑蝶翅膀鱗片的結構。

8、研究紫斑蝶的翅膀的幻色，對於紫斑蝶生存環境會有什麼影響？

台灣曾經是蝴蝶王國，紫斑蝶更是一種習以為常的生物。然而在農業、工業、商業的發展中，「人定勝天」的態度破壞了生物的棲息地，使得蝴蝶王國的美名不再。

學校推動紫斑蝶的課程已經有許多年，透過課程的教導，我們了解了紫斑蝶的美麗與哀愁，知道紫斑蝶會被寄生，紫斑蝶會被捕食，更了解紫斑蝶最大的敵人，其實是人類的經濟開發活動。科學展覽只是一個主題的探究，然而透過此主題的探究與文獻的回顧，我們獲得了更多相關的知識，建立系統概念，了解紫斑蝶的困境，進而願意保護紫斑蝶的生態環境。

保護的紫斑蝶的環境，其實也間接保護了其他生物的生存環境，讓友善環境不只是口號是一種生活實踐。唯有不斷地教育與推廣，才能影響更多人一起友善生物環境，維持生態系的平衡與發展。

陸、結論

- 紫斑蝶的幻色情形受到視覺角度、蝴蝶翅膀角度、太陽角度、光線強弱等因素影響。隨著紫斑蝶翅膀拍動時所呈現的不同角度，而產生光線的反射，使紫斑蝶的翅膀閃耀著藍紫色。
- 當反射光線會依循反射定律，在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，在水平面30度時，垂直面110-120度時，反射光線最佳，最容易欣賞到紫斑蝶的翅膀的幻色。
- 觀賞紫斑蝶時，以俯角觀賞，才能夠欣賞到紫斑蝶美麗的幻色。以仰角欣賞，只會看見腹部的褐色或黑色。
- 白光燈泡的幻色情形優於黃光燈泡，觀賞紫斑蝶時，推測上午或中午欣賞紫斑蝶，其幻色情形優於傍晚。
- 紫斑蝶的幻色與光線強烈有關，在天氣晴朗時，較容易觀察到紫斑蝶幻色。
- 生物體上的結構色彩，通常是針對生物在自然光照環境中量身訂製，起著不同的作用，具有通訊、隱蔽、求偶等功能，是生物適應自然環境的重要手段，這種現象在甲蟲的鞘翅、蝴蝶的鱗片、鳥類的羽毛、水生動物的殼與哺乳動物的皮膚表面可看見。
- 生活中結構色的應用現在人類也利用仿生科技的技術進步，將如同蝴蝶鱗片結構一般，具有特殊週期性排列結構的物質，應用在許多光電元件和材料上，發展出如信用卡與紙鈔的雷射防偽技術，甚至是能展現耀眼光澤的布料與烤漆。
- 透過探究與課程，更加了解紫斑蝶的生命，保護的紫斑蝶的環境，其實也間接保護了其他生物的生存環境，讓友善環境不只是口號，而是一種生活實踐。
- 建議：若有後續研究，可以以紫斑蝶「化學色」進行探究，讓研究面向更加完整。提升實驗器材，以高倍率的電子顯微鏡進行觀察，可以更加仔細觀察到鱗片的結構，探究其與幻色的關係。

柒、參考文獻資料

【書籍】

- 紫斑蝶；詹家龍著(2008，晨星出版)。
- 台北蝴蝶導覽手冊-彩蝶飛；陳燦榮著、徐培峰審(2006，聯經出版)
- 紫斑蝶達人手冊；雲林縣成功國小(2011.3，成功國小印製)

【影片】

- 消失的紫斑蝶；詹家龍(2023)
- 光的反射 Reflection of Light/香港科學
- 均一教育平台-47 2 1 1光的反射與反射定律

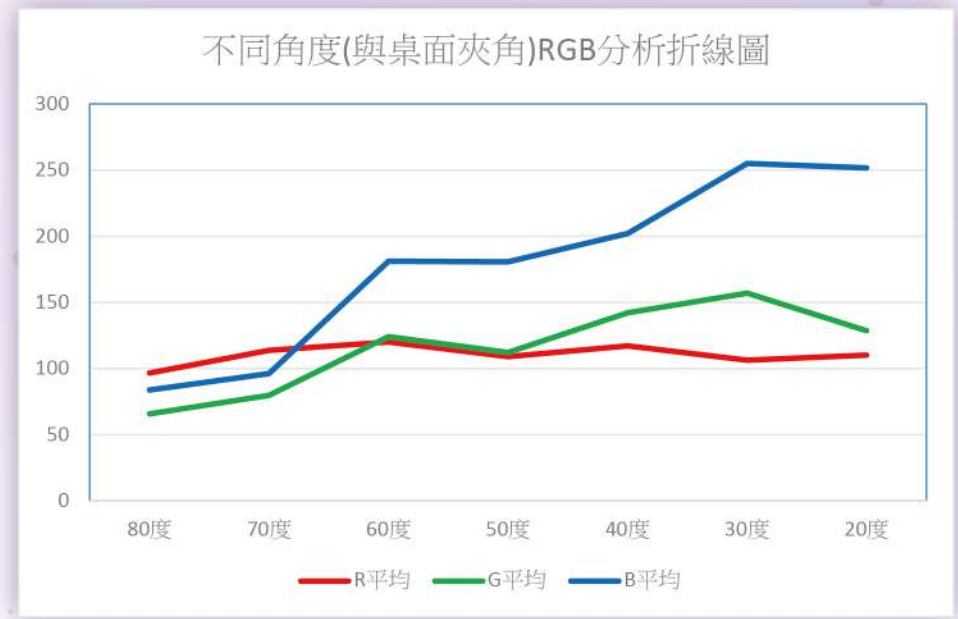
【歷屆科展之資料】

- 中華民國第46屆/蝶鱗的妙用
- 中華民國第46屆/幻紫情謎——友納斑蝶生態大揭秘
- 中華民國第47屆/高潮蝶起
- 2008國際科展/紫蝶幻影

【網站】

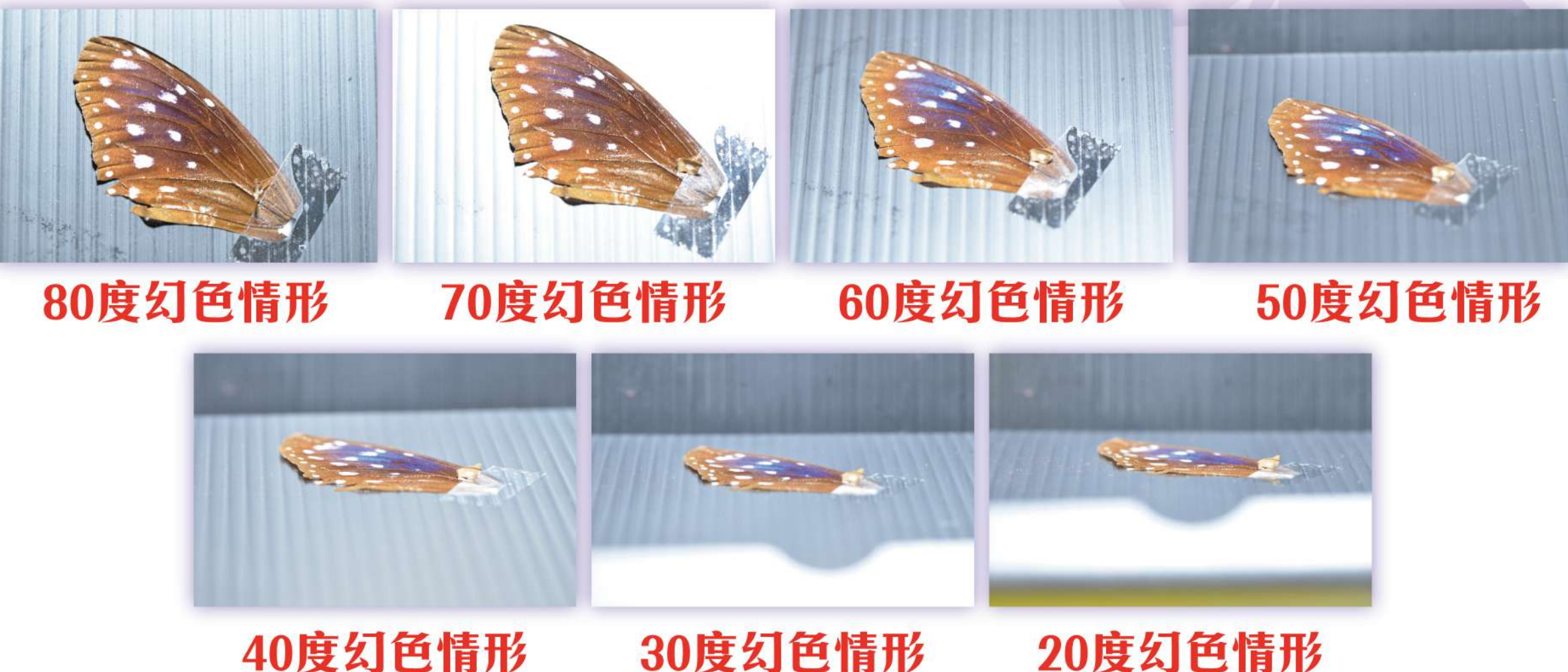
- 紫蝶生態網。
- 均一教育平台：光的反射
- 維基百科

(二) 將數據轉化為折線圖，圖表如下。



(三)結果發現，在相機固定時，隨著角度(與桌面夾角)的改變，紫斑蝶翅膀圖片的B值變化，角度愈小，B值愈大，但在30度最佳，在80度最差。

(四) 紫斑蝶不同角度之幻色情形照片。

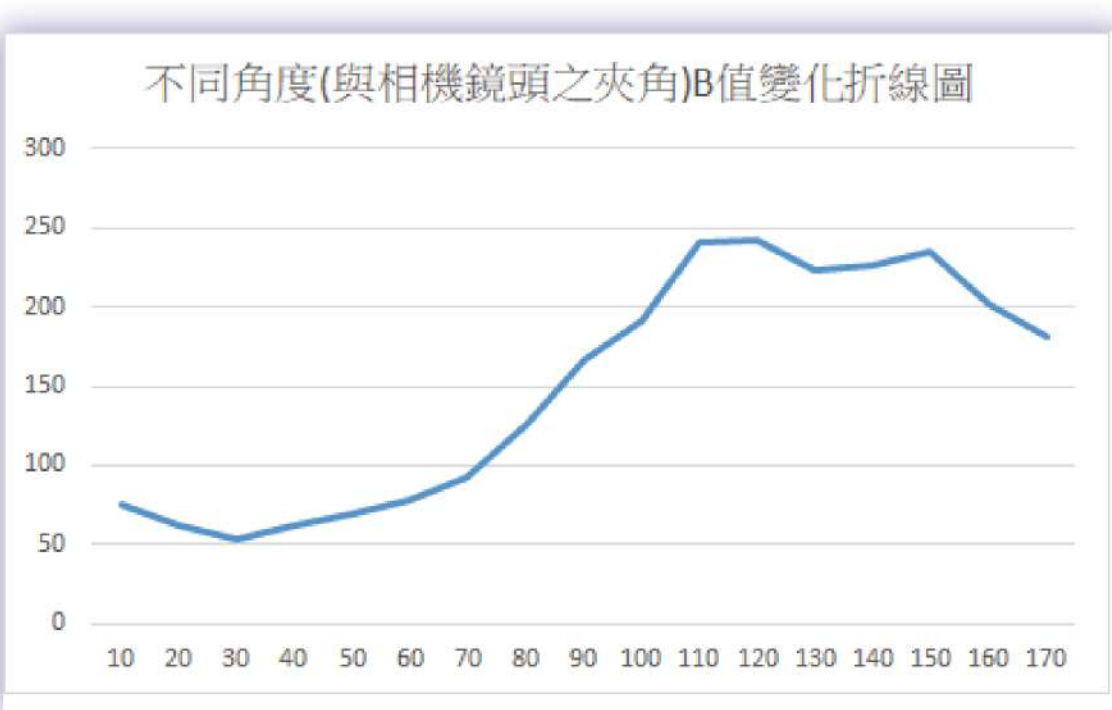


(使用之圖片為本次實驗時拍攝)

【研究二】在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，探究不同視覺角度(垂直軸)與紫斑蝶幻色呈現的關係。

(一)將不同視覺角度(垂直軸)的幻色照片，取固定位置進行RGB分析，分別於3日收集數據，再將其平均，結果如下。

角度	10	20	30	40	50	60
B值平均	75	62	52.6	62	68.6	78.6
角度	70	80	90	100	110	120
B值平均	92.6	126	166.3	191	241.6	242
角度	130	140	150	160	170	130
B值平均	224	227	235.6	202	181	224



(三)結果發現，在相機固定時，隨著垂直面角度的改變，紫斑蝶翅膀的幻色情形不同，在30度最低，在110-120度最高。



(使用之圖片為本次實驗時拍攝)

【研究三】在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，探究不同顏色燈泡與紫斑蝶幻色呈現的關係。

(一)將紫斑蝶翅膀置於13W黃光與13W白光下，拍攝幻色照片，取固定位置進行RGB分析，分別於3日收集數據，再將其平均，結果如下。

角度	80	70	60	50	40	30	20
黃光B平均值	33.3	22.6	85	100.3	203.6	209.6	162
白光B平均值	83.6	96	181.3	180.6	205	255	251

(二)將數據轉化為折線圖，圖表如下。



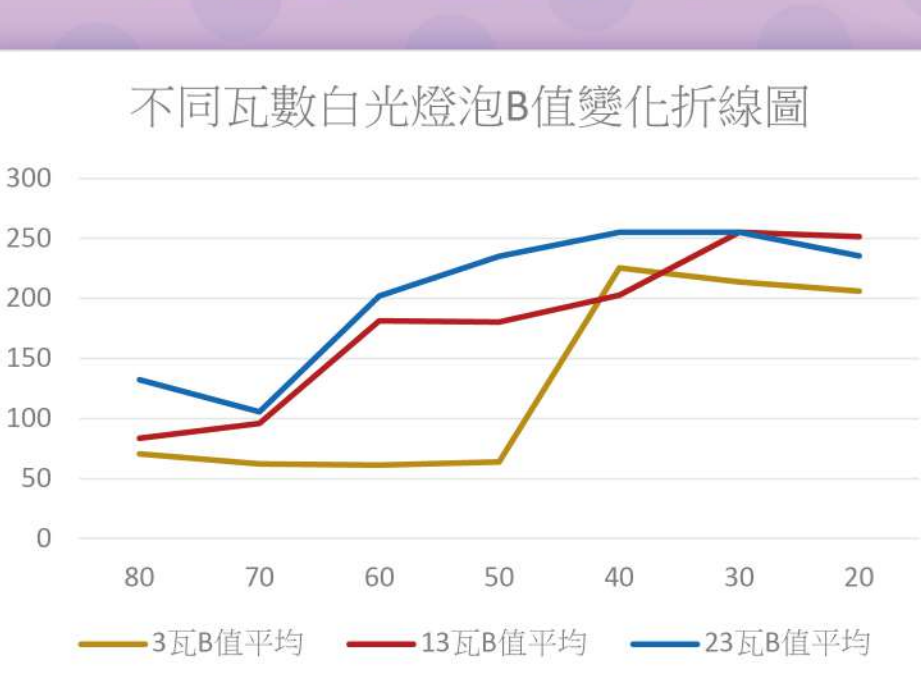
(三)結果發現13W白光之B值高於13W黃光之B值。

【研究四】在相機與紫斑蝶翅膀水平的條件下，探究不同瓦數燈泡與紫斑蝶幻色呈現的關係。

(一)將紫斑蝶翅膀置於3W、13W、23W白光下，拍攝幻色照片，取固定位置進行RGB分析，分別於3日收集數據，再將其平均，結果如下。

角度	80	70	60	50	40	30	20
3瓦B平均值	70.6	62.3	61.3	64	225.3	213.6	206
13瓦B平均值	83.6	96	181.3	180.5	202.6	255	251.6
23瓦B平均值	132.3	105.6	202	235	255	255	235.6

(二)將數據轉化為折線圖，圖表如下。



(三)結果發現23W燈泡之B值均高於3W燈泡之B值。