

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 生物科

080308

How 神『蛹』—解析樺斑蝶結蛹的變身術

學校名稱：新北市板橋區文德國民小學

作者： 小六 楊 頤 小六 朱可涵 小六 蘇子堯 小六 高辰維	指導老師： 楊光輝 李素芳
---	-----------------------------

關鍵詞：蝴蝶、樺斑蝶、蛹

How 神『蛹』

—解析樺斑蝶結蛹的變身術

摘要

蝴蝶像是一位美麗的小精靈在花叢中翩翩飛舞優游自在，其實在牠的成長階段會遭遇到無數的威脅，就會以模仿、偽裝、警告、威嚇手段來達到物種的繁衍和生存。

蟲蛹期是蝴蝶最弱與無助的時期，因此欺敵之術就是要和大自然合而為一體。如同哈利波特隱形斗篷一般讓人看不清摸不著這麼的神奇。我們透過實驗利用光線的明暗、各種顏色的玻璃紙及 LED 來改變環境光源及顏色，探討樺斑蝶蛹色變化的差異性與生活史各個階段性別分辨的研究。

壹、研究動機

下課的時候坐在教室望向窗外，忽然看見美麗的蝴蝶飛過，停留在不知名的植物上，或許在吸花蜜或許在休息。於是和幾位同學探訪校園花台上這隻色彩鮮豔的蝴蝶。我們仔細觀察驚訝的發現在這些植物葉子上有許多黑白相間條紋的幼蟲以及綠色和粉紅色珠寶般的蛹。為了解決我們的問題及困惑上網查詢資料並且請教自然老師。在老師的鼓勵下與幾位同學一同研究學習，讓我們對樺斑蝶的生態進而有更深一層的觀察與了解。

貳、研究目的

- 一、了解樺斑蝶生活史各個時期的特徵。
- 二、辨識樺斑蝶各個階段的性別。
- 三、樺斑蝶在結蛹過程中，蛹色變異的因素。
- 四、樺斑蝶的天敵。

參、研究設備及器材

馬利筋植物、昆蟲飼養箱、寶特瓶、透明保鮮盒、檯燈、各色 Led 燈、瓦楞紙箱、各色玻璃紙、剪刀、顯微鏡、電腦、相機、DV 攝影機、直尺(圖 1-1、1-2)。



圖 1-1 保鮮盒



圖 1-2 各色 LED

肆、研究過程或方法

針對我們擬定的研究目的準備實驗的器材，分列不同的實驗主題進行研究。為了解蝴蝶完全變態的一生不同的成長階段，以樺斑蝶為對象來探索蝴蝶的生活史。

實驗一：樺斑蝶生活史各個時期的特徵

(一) 實驗方法

1、觀察紀錄

藉由集中種植馬利筋植物觀察樺斑蝶幼蟲成長、化蛹、羽化、交配（圖 2-1、2-2）、產卵（圖 2-3）過程的紀錄。



圖 2-1 交配



圖 2-2 交配

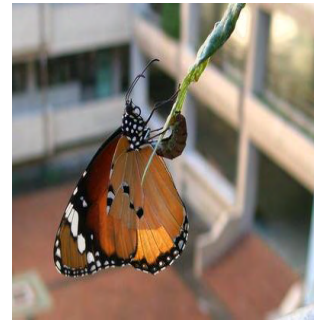


圖 2-3 產卵

2、飼養的過程

- (1) 以透明昆蟲飼養箱移入戶外馬利筋植物上樺斑蝶的蟲卵飼養。
- (2) 在馬利筋盆栽上飼養樺斑蝶。

(二) 實驗結果

1、卵期大約六天

雌蝶將卵產在馬利筋的花上、葉面下且是一粒一粒單獨呈現，並沒有群聚的情形。卵的外觀呈紡錘狀、乳白色表面有縱列紋脈，大小約為高約 1mm，直徑約 0.5mm，要孵化時整個卵的顏色呈現灰黑色。(圖 3-1~5)



圖 3-1 孵化-1



圖 3-2 孵化-2

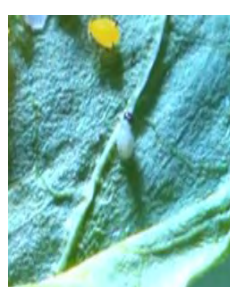


圖 3-3 孵化-3



圖 3-4 孵化-4

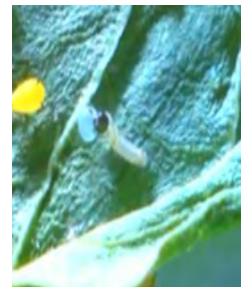


圖 3-5 孵化-5

2、幼蟲期約十二天

共分成五齡，卵孵的蟲體顏色呈淡乳白色，頭的部分比較黑。三齡幼蟲期的三對角突的基部轉成紅色。四次脫皮後變成五齡幼蟲，蟲體明顯縮短許多變圓腫，且外皮也皺皺的不進食縮成一團，體長為 3cm 左右。(圖 4-1~5)

3、蛹期約有十天

樺斑蝶的蛹以頭下尾上的方式結蛹，屬垂蛹也稱吊蛹。蛹體長約兩公分，有綠色或淡粉紅色，蛹上方有黑色斑點成一橫條紋，下方有幾點閃閃發亮的金銀色斑點，外形彷彿一顆珍貴的寶石。(圖 5-1~5)

4、成蝶期約有一~二個月

樺斑蝶是中等大小的蛺蝶，翅展約 7~8cm。身體是黑色有很多白色斑點。翅膀表面呈黃褐色比底面較為鮮艷。前翅的頂部是黑色的，有白色斑紋。後翅圍繞中央有 3~4 個黑點。(圖 6-1~5)



圖 4-1 一齡幼蟲



圖 4-2 二齡幼蟲



圖 4-3 三齡幼蟲

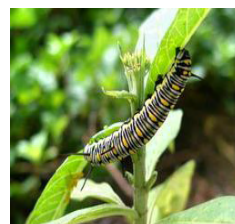


圖 4-4 四齡幼蟲



圖 4-5 五齡幼蟲

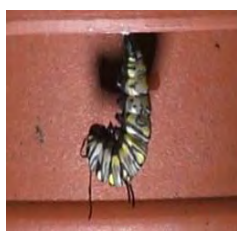


圖 5-1 結蛹-1

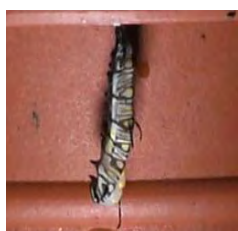


圖 5-2 結蛹-2



圖 5-3 結蛹-3

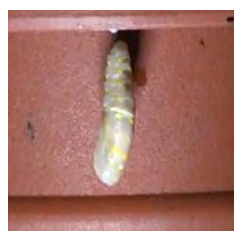


圖 5-4 結蛹-4

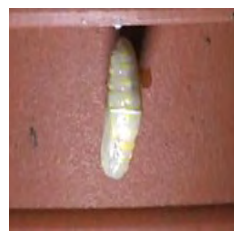


圖 5-5 結蛹-5

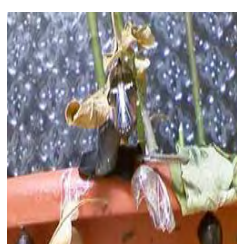


圖 6-1 羽化-1



圖 6-2 羽化-2



圖 6-3 羽化-3

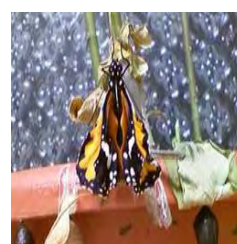


圖 6-4 羽化-4

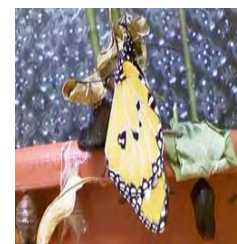


圖 6-5 羽化-5

蝴蝶的性別其實是受精時就決定的和人類一樣，是否可以從各個成長階段分辨牠們的性別呢？

實驗二：觀察辨識樺斑蝶各個階段的性別

（一）實驗方法

1、觀察紀錄

我們分別採集馬利筋植物葉子、花、莖上的蟲卵、幼蟲、蛹及成蝶做記錄，觀察它們的外觀構造上有無明顯的性別特徵。

2、觀察過程

（1）以放大鏡觀察卵的外型、顏色、條紋，樺斑蝶的卵實在太小了無法看的清楚。因此在老師的建議下，我們改用顯微鏡觀察。

（2）我們利用顯微鏡+Webcam 製作觀察器材連接到電腦，方便做外觀及構造上的觀察比較。（圖 7-1~3）

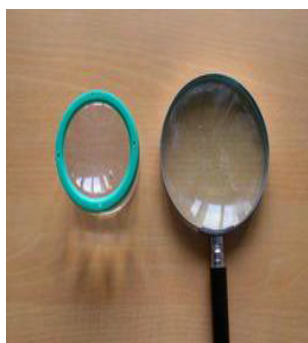


圖 7-1 放大鏡



圖 7-2 觀察箱



圖 7-3 顯微鏡+Webcam

（二）實驗結果

1、卵外形都為砲彈形狀、乳白色，表面具有光澤和 16~18 條縱脊紋路。我們無法判斷不同環境的卵間的差異，因此從卵期來預測成蟲性別，可能性不大。（圖 8）



圖 8 卵

2、幼蟲外形為細長圓筒狀。中胸及第 2、8 腹節背方有細長肉質突起。頭部黑色，頭頂板有白色環紋。體色為白底佈有黑色環紋，各體節背方有兩個橢圓形黃斑，體側氣門為白色。幼蟲體型大小不同，由外觀條紋粗細的差異可以成為判斷方式，我們考慮來嘗試預測成蟲的性別（圖 9-1~3）。

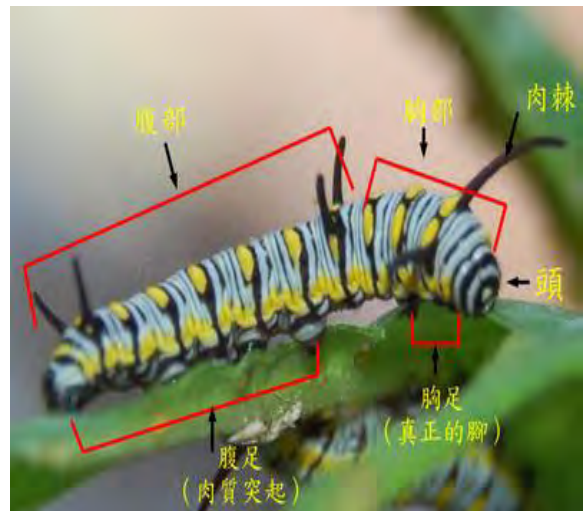


圖 9 1 樺斑蝶幼蟲構造

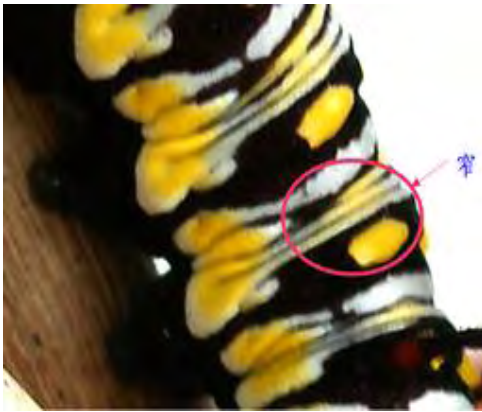


圖 9-2 細條紋幼蟲



圖 9-3 粗條紋幼蟲

3、樺斑蝶的蛹為垂蛹，蛹體大致成橢圓形，中胸背方稍微隆起，絲墊顏色為白色，蛹體呈淡綠色或粉紅色，體表光滑，第 3~4 腹節突出有著銀色斑點的黑色環紋。我們發現可以從銀色斑點的個數來嘗試做性別判斷（圖 10）。



圖 10 蛹

4、成蝶前、後翅表面底色橙黃色，雄蝶前翅端部為黑褐色外觀為三角形，其中有一白色斜帶紋及多數細小白點。後翅卵圓形外緣為內有白點之黑色帶紋，第 2 脈中橫線附近有黑色白斑性徵。雌蝶外觀與雄蝶相似，無明顯差異，後翅不具性徵。（圖 11、圖 12）



圖 11 樺斑蝶雌蝶

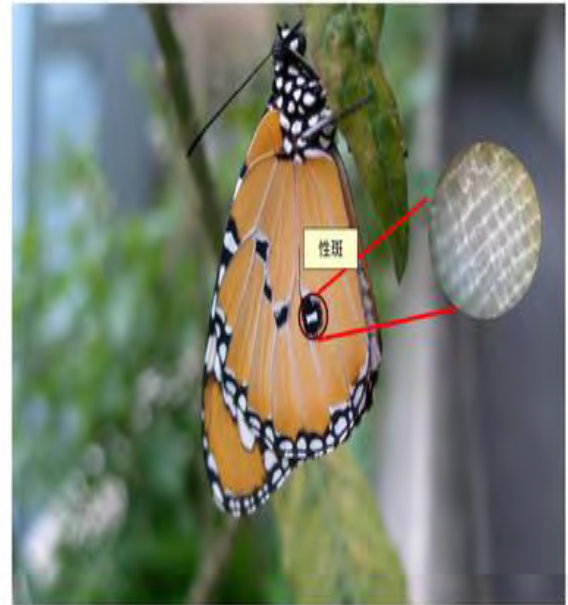


圖 12 樺斑蝶雄蝶

我們觀察到蛹期是蝴蝶成長過程中差異最多的時候，除了在成蟲期我們可以經由外觀判斷性別外，我們認為蛹期是另一個最有可能的時期，於是我們又進行下列一連串的實驗。

實驗三：影響樺斑蝶蛹色變異的因素

（一）自然環境觀察實驗

1、實驗方法

在生態觀察園裡面，不加以限制自然情況下觀察蛹色的自然變異(圖 13)。

2、實驗過程

讓樺斑蝶的幼蟲在觀察園的自然環境下成長，隨著周遭的環境五齡幼蟲在自然的法則結蛹的觀察研究。



圖 13 馬利筋上的幼蟲

3、實驗的結果

在自然環境的情形下，觀察發現有可能會在馬利筋的葉面下(圖 14-1)、花盆、磚牆(圖 14-2)、甚至爬到其他植物葉面下(柚子樹、雜草上、蟛蜞菊)，就其週遭的環境改變蛹色。基本上大多會隨著周圍環境如果是有綠色植物的情形下，多半會變成綠色的蛹；反之，在其他背景顏色環境中則會變成粉紅色的蛹(圖 14-3、14-4)。我們討論後想結蛹時環境光線明暗與環境背景顏色會不會影響蛹色？於是我們再設計下列實驗。



圖 14-1 葉下



圖 14-2 牆角



圖 14-3 牆面



圖 14-4 箱蓋

(二) 明暗、背景顏色環境實驗

1、實驗方法

在透明保鮮盒中黏貼藍、黃、紅、綠色四種顏色的玻璃紙，觀察終齡幼蟲階段是否會隨著周遭環境明暗、背景顏色進而改變蛹色以及觀察破蛹羽化成蝶的性別。



圖 15 明亮環境

2、實驗過程

將包裹各色透明玻璃紙的保鮮盒以及終齡幼蟲一起放入瓦楞紙箱中及日光下飼養，營造明亮和黑暗及背景顏色的環境觀察樺斑蝶結蛹蛹色的變異(圖 15、16)。

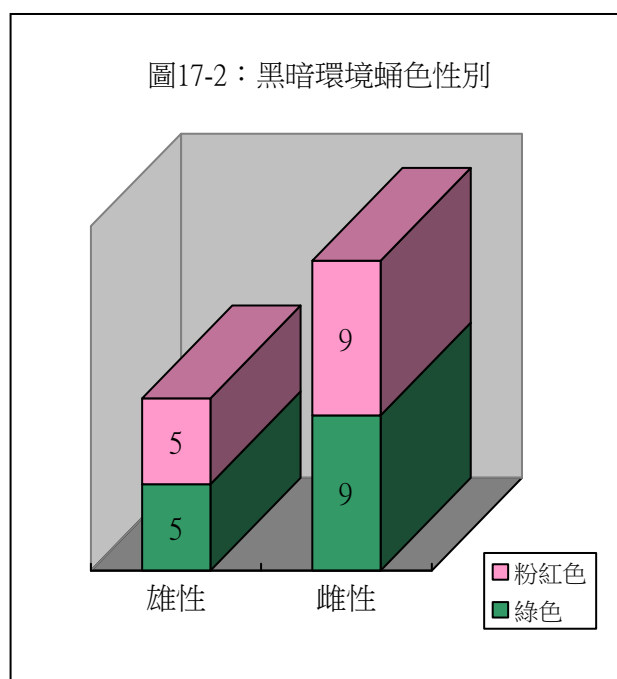
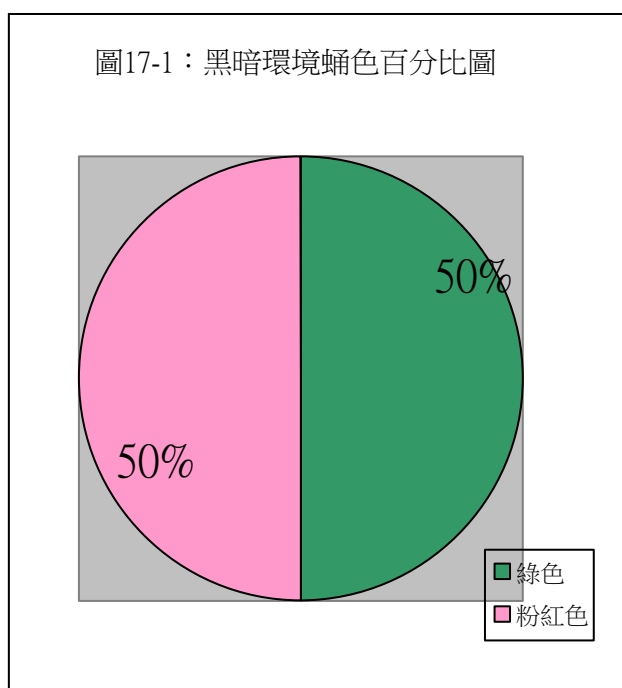


圖 16 黑暗環境

3、實驗結果

表一：樺斑蝶結蛹實驗(黑暗)					
顏色 蛹色	紅	黃	藍	綠	明
綠色	3	5	2	1	3
粉紅色	2	0	2	5	5

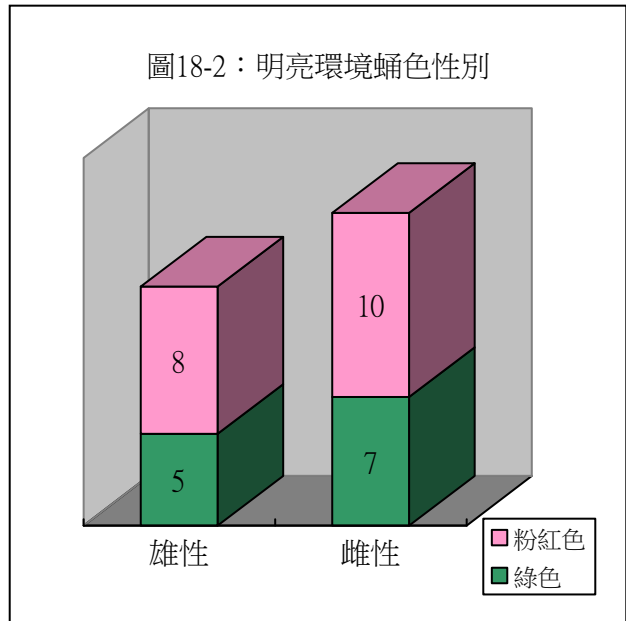
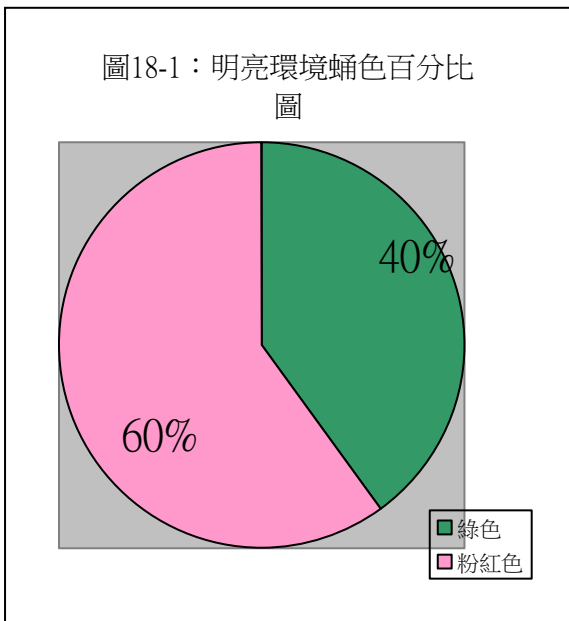
表二：黑暗環境顏色蛹色性別		
性別 蛹色	雄性	雌性
綠色	5	9
粉紅色	5	9



[說明：由表一、二的實驗統計結果，黑暗環境及背景顏色實驗結綠色的蛹有 14 個；結粉紅色的蛹有 14 個比率各佔一半，但是蛹羽化成雌性的機率比較高。(圖 17-1、17-2)]

表三：樺斑蝶結蛹實驗(明亮)					
顏色 蛹色	紅	黃	藍	綠	明
綠色	2	4	2	4	0
粉紅色	3	0	3	6	6

表四：明亮環境顏色蛹色性別		
性別 蛹色	雄性	雌性
綠色	5	7
粉紅色	8	10



[說明：由表三、四的實驗統計結果，明亮環境及背景顏色實驗結綠色的蛹有 12 個、結粉紅色的蛹有 18 個，結粉紅色蛹的比率比綠色蛹來得高些；蛹羽化成雌性的機率也比較高。（圖 18-1、18-2）環境明暗、背景顏色與幼蟲結蛹的顏色及其羽化成蝶的性別也沒有一定的相關性。（圖 19-1~10）。]

結蛹前蟲體退皮時顏色是綠的蛹就是綠的；退皮時蟲體是接近粉紅色蛹就是粉紅色。但是，為什麼包裹黃色玻璃紙下的蟲蛹是綠色的，這一點讓我們想再進一步實驗，那會不會是光線光元顏色也會有關係呢？

圖 19-1~10 明亮與黑暗環境下樺斑蝶結蛹對照表

明亮					
黑暗					

(三) 各色 LED 光元與蛹色的實驗

1、實驗方法

利用各色 LED 燈來發光進行改變環境光線光元實驗，並放入終齡幼蟲觀察人為營造的光元環境下對於蛹色改變的情形以及觀察破蛹羽化成蝶的性別。

2、實驗過程

- (1) 選用 24 燈 LED 燈條，將各色 LED 燈照度控制在大約 600 (lux) 為環境光線光元。註：1(勒克斯)=1(流明/平方公尺)
- (2) 利用樺斑蝶幼蟲成長為終齡幼蟲時放入透明保鮮盒，移入各色 LED 光元的環境下飼養。觀察在終齡階段是否會隨著周遭環境(光元的顏色)進而改變蛹色。

3、實驗結果

表五：樺斑蝶結蛹實驗(LED光元)

顏色 蛹色	紅	黃	藍	綠
綠色	2	2	0	2
粉紅色	0	0	2	0

表六：LED光元環境顏色蛹色性別

性 別 蛹色	雄性	雌性
綠色	2	4
粉紅色	0	2

圖20-1：LED光元環境蛹色百分比圖

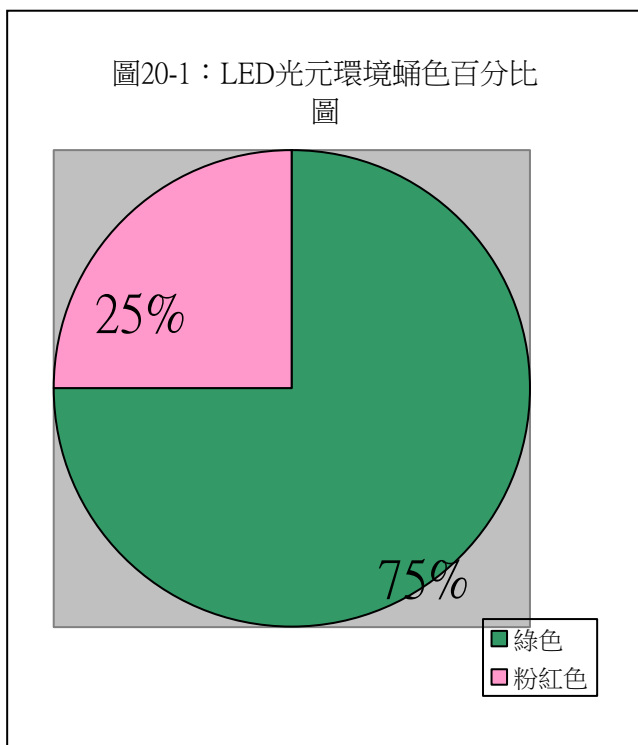
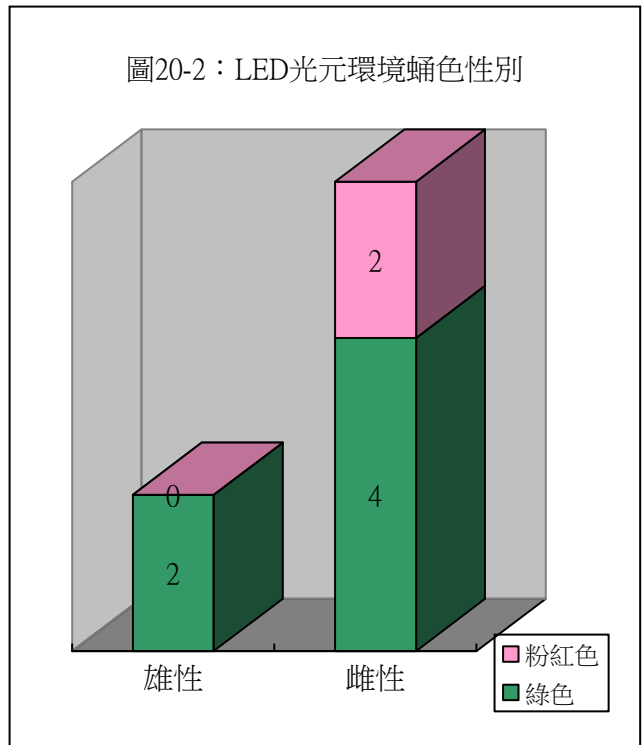





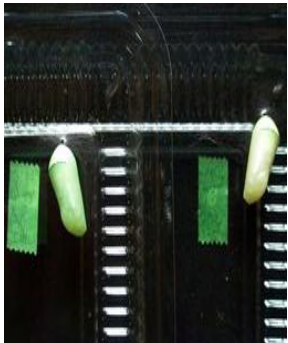
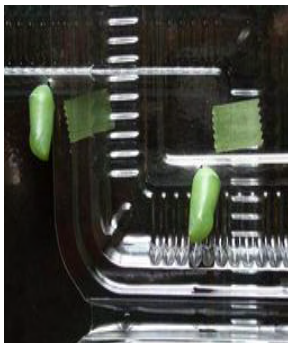



圖20-2：LED光元環境蛹色性別



[說明：由表五、六統計結果，綠光、黃光及紅光 LED 實驗結綠色的蛹 6 個；藍光 LED 結粉紅色的蛹有 2 個（圖 20-1、圖 20-2）。結綠色蛹的比率比粉紅色蛹來得高些；羽化成雌性的機率也比較高。（圖 21）]

圖 21 LED 色光環境下樺斑蝶結蛹對照表

色光	藍光	綠光	黃光	紅光
環境				
蛹色				

但是，為什麼綠色、黃色及紅色 LED 光元下的蟲蛹是綠色的，這一點讓我們好奇想再進一步實驗證實。用這三色 LED 光為自然光裡的紅、黃及綠光光元環境下實驗，在不同顏色背景環境樺斑蝶幼蟲是不是只結綠色的蛹？

(四) 綠光、黃光及紅光 LED 光元進行蛹色變異實驗

1、研究目的

利用綠光、黃光及紅光 LED 為光線光元實驗，讓幼蟲在非綠色植物(無葉綠素)物體上結出綠色的蛹。

2、研究設備及器材

綠光、黃光及紅光 LED、樺斑蝶幼蟲、馬利筋植物盆栽及白顏色支架、紅色花盆。

3、研究過程或方法

利用自然光及人為 LED 光進行對照實驗。(圖 22-1~2)



圖 22-1 自然光環境



圖 22-2 LED 光線光元

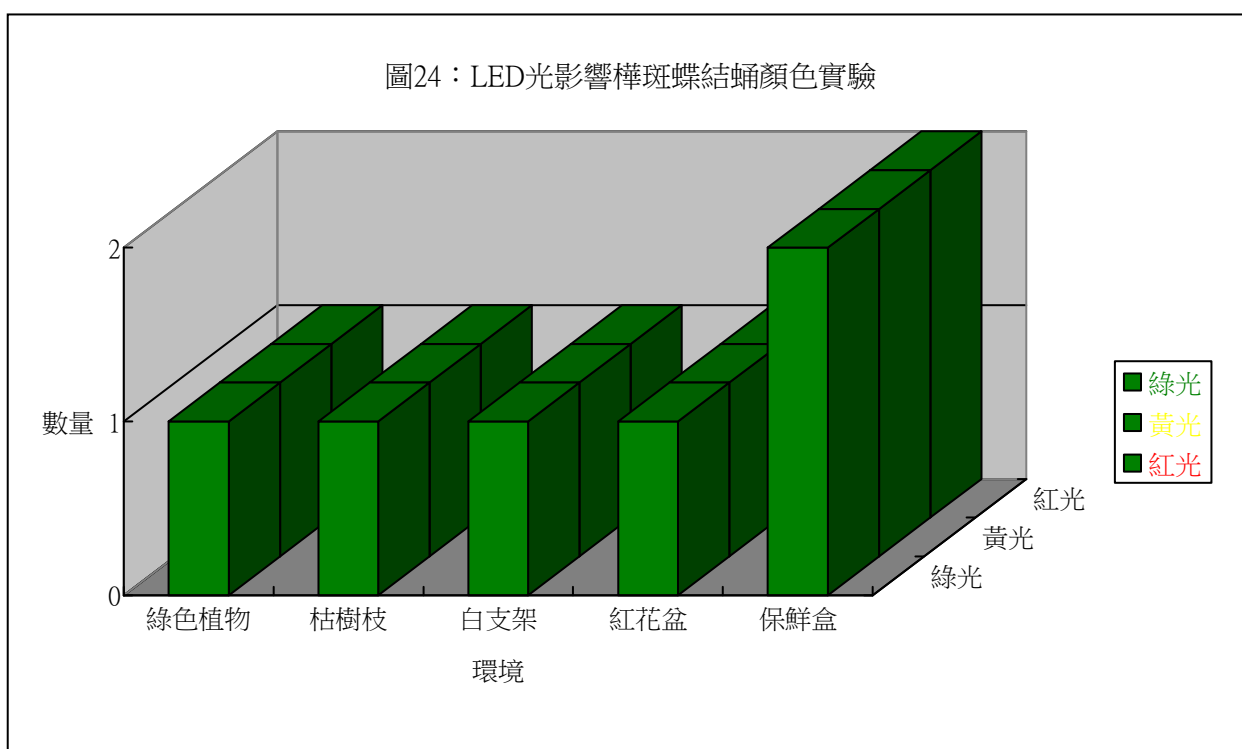
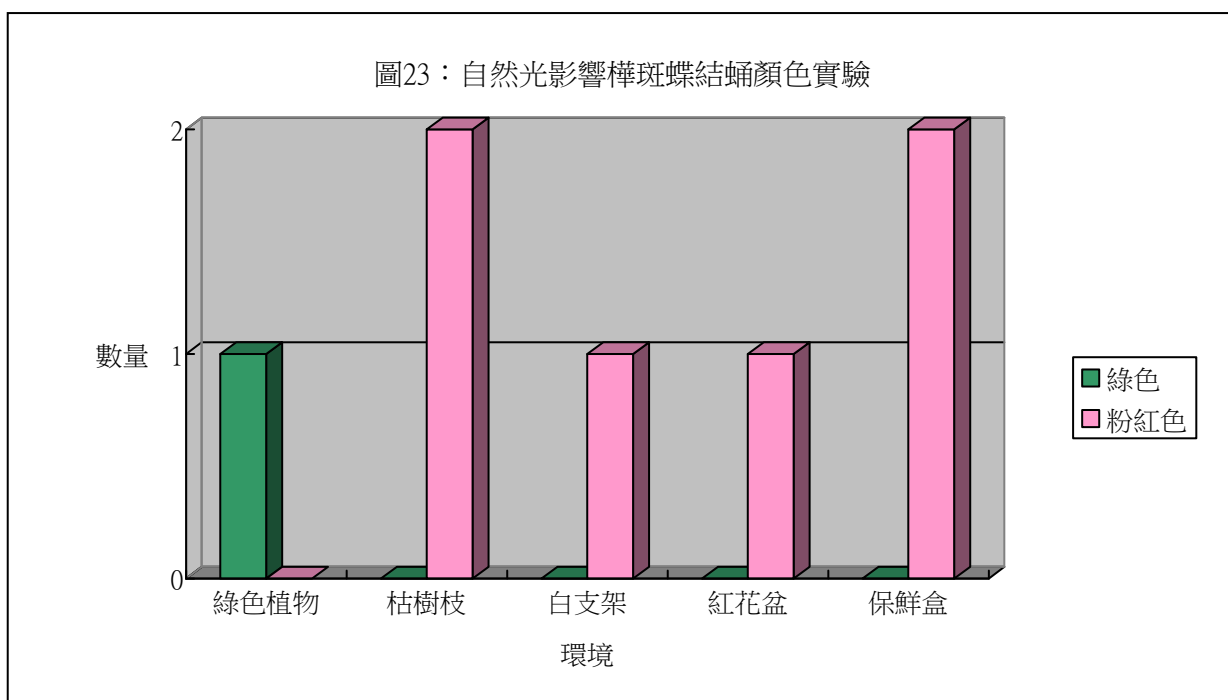
(1) 利用自然光將樺斑蝶終齡幼蟲分別放在紅色花盆及白色支架等結蛹。

(2) 將樺斑蝶終齡幼蟲分別放在紅色花盆及白色支架等，利用 LED 光 24 小時不斷照射，觀察結蛹蛹色的變異。

4、研究結果

環境 蛹色	植物	樹枝	支架	花盆	透明
綠色	1	0	0	0	0
粉紅色	0	2	1	1	2

環境 蛹色 色光	植物	樹枝	支架	花盆	透明
綠光	綠色	綠色	綠色	綠色	綠色
黃光	綠色	綠色	綠色	綠色	綠色
紅光	綠色	綠色	綠色	綠色	綠色



[說明：實驗的結果(表七、表八)顯示，樺斑蝶幼蟲的環境不管是自然光及LED光下，在植物(有葉綠素植物)上結的蛹都是綠色的(圖23、圖24)。但是，樺斑蝶幼蟲的環境在自然光下紅色花盆及白色支架上都是結粉紅色的蛹；在人為LED光下紅色花盆及白色支架上結的蛹是綠色的(表九)]。

表九：LED 與自然光對樺斑蝶蛹色影響的對照表

結蛹環境	自然光	綠光	黃光	紅光
綠色植栽				
枯黃樹枝				
白色支架				
紅色花盆				
保鮮盒				

實驗期間發現有些樺斑蝶的幼蟲會突然的減少或是不見。讓我們百思不得其解，一隻有毒的幼蟲會有什麼樣的天敵引起我們的好奇於是進行實驗觀察。

實驗四：樺斑蝶的天敵

（一）實驗方法

1、觀察紀錄

觀察樺斑蝶生長史過程中天敵種類的研究紀錄。

2、觀察的過程

- （1）自然環境中記錄觀察樺斑蝶在卵、幼蟲、蛹、成蝶各個階段遭遇的天敵，以筆、紙及相機做成記錄。
- （2）發現被寄生的幼蟲、蛹移入透明飼養箱飼養，以筆、紙及相機做成記錄。

（二）實驗結果

- （1）發現在生態觀察園馬利筋植物生長的蟲卵或一、二齡幼蟲會因為螞蟻為了保護它互利共生的蚜蟲而摘走（圖 25-1），甚至還有的蟲蛹或許被螞蟻咬破把蛹蟲吃掉（圖 25-2）。
- （2）樺斑蝶的幼蟲除了吃有毒的馬利筋植物蓄積蟲體的毒素來抵禦天敵，還會在晚上時移到植物的底層，利用植物的高度及隱蔽性來躲避掠食者，因此在清晨時都會發現幼蟲在植物的底層。若遇到同類或螞蟻爭強地盤時，會像啄木鳥一樣頭部彈動威嚇。
- （3）終齡幼蟲結在柑橘類植物或金露花植物的蛹會變黑幾乎無法羽化。
- （4）前蛹期是在非綠色環境下的樺斑蝶幼蟲，在化蛹蛻皮時會把蟲體上多餘的綠色色素，隨著蛻皮的過程排出體外以利結出粉紅色的蛹（圖 25-3）。
- （5）有些終齡幼蟲在結蛹前會被寄生蠅產卵在蟲體身上寄生，把樺斑蝶的蟲體當作養分成長，再鑽出樺斑蝶的蛹結成自己的蛹孕育下一代（圖 25-4）。
- （6）大黃蜂不怕樺斑蝶幼蟲的毒，把幼蟲的表皮剝去啃食蟲體（圖 25-5）。
- （7）剛羽化的蝴蝶如果展翅空間狹小造成無法伸展完全，可能就會形成畸形無法飛翔甚至死亡。

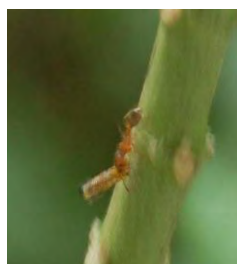


圖 25-1



圖 25-2



圖 25-3

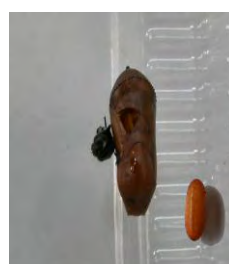


圖 25-4

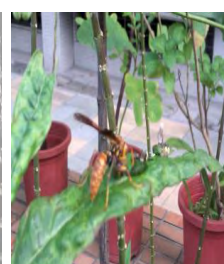


圖 25-5

伍、研究結果

一、樺斑蝶生活史的觀察

樺斑蝶是「完全變態」的昆蟲，一生要經歷卵（圖 26-1）、幼蟲（圖 26-2）、蛹（圖 26-3）和成蟲（圖 26-4）四個階段，「變態」即是指身體外觀隨著成長而有不同的面貌。樺斑蝶從出生到化蛹、羽化為成蟲，大約需時 30 天。

樺斑蝶生活史

成蟲期一~二個月：樺斑蝶是中等大小的蛺蝶，翅展約 7~8cm。身體是黑色的，有很多白色斑點。翅膀表面呈黃褐色，比底面較為鮮艷。前翅的頂部是黑色的，有白色斑紋。後翅圍繞中央有 3~4 個黑點。雄蝶比雌蝶細小，但色彩較為鮮艷。雄蝶有很多第二性徵，後翅上的白色斑點是稍稍隆起的，其實是一束香鱗，用來吸引雌蝶。



圖 26-4 成蟲期



圖 26-1 卵期

卵期大約六天：雌蝶將卵產在幼蟲食草植物-馬利筋的花上、葉面下且是一粒一粒單獨呈現，並沒有群聚的情形。卵的外觀呈紡錘狀、乳白色表面有縱列紋脈，整顆卵大小大約為高約 1mm，直徑約 0.5mm。快要孵化時整個卵的顏色呈現灰黑色。



發現孵化後的幼蟲會將自己的卵殼吃掉，而且大多習慣從身邊開始吃葉子表面組織，因此葉子上面有許多排列成圓圈狀的小圓洞。



圖 26-2 幼蟲期

幼蟲期約十二天：共分成五齡，卵孵的蟲體約 0.4cm~0.5cm 顏色呈現淡乳白色，頭的部分比較黑。三齡幼蟲的三對角突的基部似乎都轉成紅色。多次脫皮後變成五齡幼蟲，蟲體明顯縮短且圓腫，表皮也顯得皺皺的，體長約為 3cm 左右。蟲體不進食，身體縮成一團，呈現休息狀態。

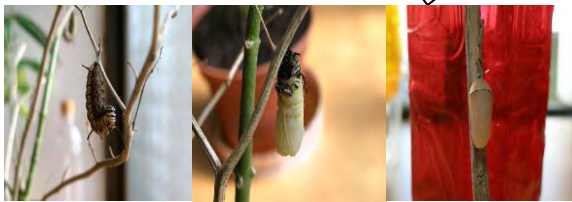
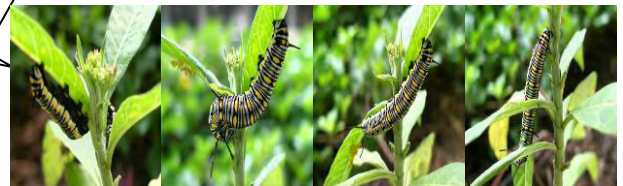


圖 26-3 蛹

五齡幼蟲開始尋找適當的地方來回吐絲作蛹，並以尾足固定好的蟲體倒吊形成「前蛹」，前蛹經過一天以後開始脫皮叫做「化蛹」。



變成四齡的幼蟲，體型有大幅度的成長大約 3~4cm，同時食慾也更強烈，會在馬利筋上面爬上爬下尋找葉片，飲食習慣會先尋找葉脈基部將其咬折之後，以頭部在下尾足在上到吊著咬食。

蛹期約有十天：樺斑蝶的蛹直接以頭下尾上的方式，垂懸在絲座下方，屬垂蛹，也稱吊蛹。蛹體長約兩公分，有綠色或淡粉紅色，蛹上方有黑色斑點，成一橫條紋，下方有幾點閃閃發亮的金色斑點，外形彷彿一顆珍貴的寶石，又像一顆長在枝上的小果實，玲瓏動人。在這十天裡，蝴蝶慢慢成長成熟了

二、樺斑蝶成長史各個階段的性別特徵

樺斑蝶一生經歷卵、幼蟲、蛹及成蝶的各個階段，在卵期無法從它們的外表來區別樺斑蝶的性別。但是在幼蟲、蛹及成蝶的階段，我們發現可以由以下方法判斷蝴蝶的性別（表十）。

表十：樺斑蝶各個階段的性別特徵表

性別	幼蟲	條紋	銀色斑點	性斑
雌性	 顏色深	 條紋窄	 奇數點	 無性斑
雄性	 顏色淺	 條紋寬	 偶數點	 有性斑

三、蛹色的研究

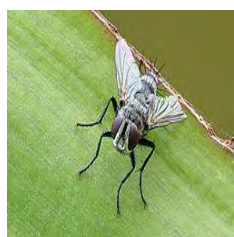
- (一) 在自然環境的情形下，幼蟲結蛹的地點似乎是隨機的，周圍環境如果是有綠色植物的情形下，多半會變成綠色的蛹；反之，在其他非綠色植物下顏色則會變成粉紅色的蛹。
- (二) 背景環境顏色實驗結果，顯示樺斑蝶幼蟲結蛹的顏色也只有綠色和粉紅色二種，蛹色的表現以粉紅色的機率較高。
- (三) 在明亮與黑暗環境下蟲蛹顏色的實驗顯示，樺斑蝶的蛹只有綠色及粉紅色二種。除了包裹黃色玻璃紙的透明保鮮盒內的蟲蛹是綠色的（附件一），其餘顏色玻璃紙的保鮮盒內蟲蛹都有綠色及粉紅色的蛹，蛹色的表現以粉紅色的機率較高。

(四) 人為 LED 光實驗，樺斑蝶幼蟲在綠光、黃光及紅光下會結綠色的蛹；在藍光下結粉紅色，而且二者都可羽化成雄蝶或是雌蝶。

四、樺斑蝶的天敵

自然環境中蝴蝶的天敵主要有二類，一為寄主性天敵，另一為捕食性天敵，各以不同方式利用蝴蝶組織維生。雖然野外的蝴蝶受寄生性天敵危害的機率很高，但是兩者之間卻能維持平衡狀態，以便同時存活於生態系中。

寄生性天敵：寄生蜂(姬蜂、小繭蜂)、寄生蠅。



寄生蠅圖

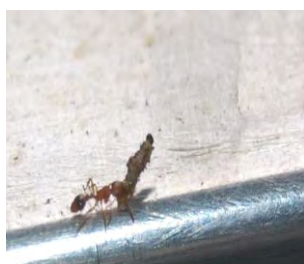


寄生蜂圖



寄生蜂繭圖

捕食性天敵：哺乳類(人)、鳥類、爬蟲類(攀蜥、壁虎、蛇)、兩棲類(蛙)、蜘蛛網、肉食性昆蟲(螳螂、椿象、大黃蜂)。



螞蟻圖



蜘蛛圖



螳螂圖



大黃蜂圖



鳥類圖



青蛙圖

陸、討論

- 一、為什麼樺斑蝶幼蟲在綠色植物下結的蛹是綠色的，而在非綠色環境下結的蛹是粉紅色的？樺斑蝶幼蟲如何感知外在環境顏色的變化？

幼蟲沒有複眼所以視力不佳，在頭頂下側每邊有6個單眼，用以辨識光線明暗(台大校友雙月刊 椰林風情 第57期)。葉綠素是參與光合作用的主要色素，它存在植物細胞內的葉綠體中，葉綠素反射綠光並吸收紅光和藍光，使植物呈現綠色(蝴蝶媽媽與烏賊小子)。所以樺斑蝶的幼蟲在綠色植物下強烈接受到自然光源裡的綠光光元環境而結綠色的蛹(附件二)。

- 二、為什麼樺斑蝶的幼蟲在明亮的環境下，蛹色的表現以粉紅色為主？

因為樺斑蝶的幼蟲在感受到明亮環境下，可以感知環境光元的強弱。當綠光或紅光光元強則以綠色蛹來表現；反之，以粉紅色蛹來表現。變色的機理是幼蟲化蛹的時候，從胸部的中樞神經中產生變成與周圍環境相同的激素；其次蛹殼中有染色物質，這些染色物質隨光線的不同而形成不同的色澤，因此周圍背景的顏色決定蛹的顏色(昆蟲文化與鑑賞, 陳仁利)。

- 三、為什麼樺斑蝶的幼蟲在黑暗的環境下，結的蛹有綠色及粉紅色的？

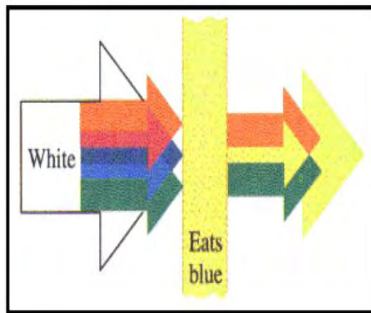
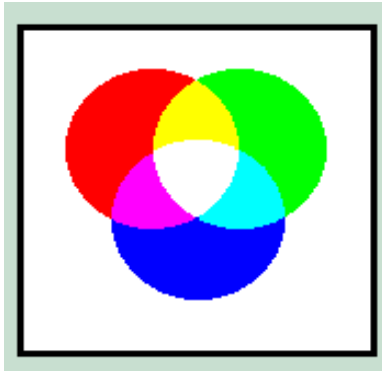
在黑暗箱子實驗的一組，因為所處的環境全是黑暗的沒有光線透進來，樺斑蝶的幼蟲無法感知環境(光元)的明暗，結的蛹可能是綠色或粉紅色不一定。依照(柑橘鳳蝶基礎生物學之探討, 游書萍)研究，當結蛹環境是黑暗時缺乏光線刺激會導致蛹的顏色非常淺，所以蛹色的表現以粉紅色(淺色)為主。

- 四、經過實驗的結果發現黃色玻璃紙下蛹的顏色都是綠色的，其他顏色玻璃紙的蛹是綠色或粉紅色的，為什麼？

物體所呈現的顏色係由於光線照到物體後所反射光線的顏色。若以白光照在紅色物體上，則物體會大量吸收不是紅顏色的色光，反射光線幾乎以紅色為主，因此感覺物體為紅色。但是透明紙(或濾光片)，則是只允許某種顏色的光通過，其餘的光線被吸收。綠色或藍色區域只反射綠光或藍光，但是均無法通過紅色濾光片(色紙)，由於大量不需要的色光被阻擋，射出的色光就相當弱了，所以眼睛感覺黑色的一片。(彩色繽紛的世界 國立台灣師範大學 物理系教授 黃福坤)

如圖：

(紅光 + 綠光) = 黃光
 (紅光 + 藍光) = 紫光
 (綠光 + 藍光) = 淺藍光



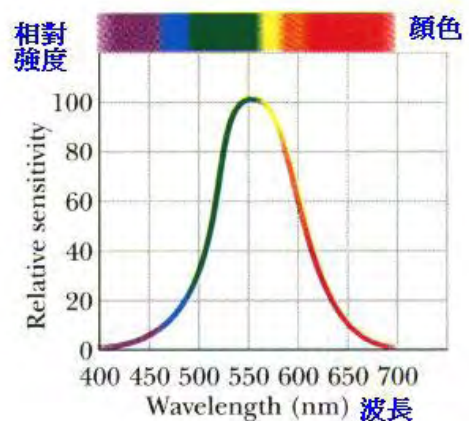
原色彩	加有色透光玻璃紙
<p>(本 Director 動畫作者：劉兆全老師)</p>	<p>(本 Director 動畫作者：劉兆全老師)</p>
<p>(本 Director 動畫作者：劉兆全老師)</p>	<p>(本 Director 動畫作者：劉兆全老師)</p>
<p>(本 Director 動畫作者：劉兆全老師)</p>	<p>(本 Director 動畫作者：劉兆全老師)</p>

『白』色光 經過黃色濾光片時，絕大部份藍色光被『吃(吸收)』掉了，剩下紅光 + 綠光於是眼睛感覺所見到的是『黃光』。然而紅色漆會吸收藍光與綠光，綠色漆則吸收藍光與紅光，於是 ...只有少數『光』能反射出來，因此顏料相加後感覺越來越暗。

五、LED 燈如何影響樺斑蝶幼蟲結蛹的顏色？

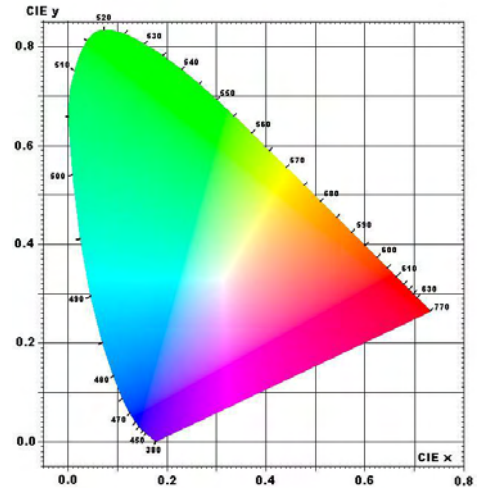
LED 的實驗發現，幼蟲在綠光、黃光及紅光的光元環境下會結出綠色的蛹；藍光光元的環境下會結出粉紅色的蛹。可見光是波長範圍約為 780nm-380nm 的電磁波(如圖)。其中各色光的波長範圍約為：

- 紅：780~630 nm
- 橙：630~600 nm
- 黃：600~570 nm
- 綠：570~500 nm
- 青：500~470 nm
- 藍：470~420 nm
- 紫：420~380 nm



LED 種類有很多，其中各色光的波長(如圖：泰斯特科技)範圍約為：

紅光波長 625~690nm
橙紅光波長 610~617nm
琥珀光波長 585~600nm
黃光 波長 545~580nm
綠光 波長 510~540nm
青光 波長 490~505nm
藍光 波長 455~480nm
紫光 波長 380~440nm



所以由以上的資料得知自然光波長在 500nm~780nm 範圍，幼蟲會結出綠色的蛹；波長範圍在 500nm 以下，幼蟲會結出粉紅色的蛹。

柒、結論

- 一、樺斑蝶是「完全變態」的昆蟲，一生要經歷卵、幼蟲、蛹和成蟲四個階段，「變態」即是指身體外觀隨著成長而有不同的面貌。樺斑蝶從出生到化蛹、羽化為成蝶，大約需時 30 天。
- 二、蝴蝶的性別其實是受精時就決定的和人一樣，樺斑蝶在卵期是無明顯的性別特徵可以分辨，但是在幼蟲、蛹及成蝶階段可以藉由條紋、銀色斑點的奇偶數、性斑來分辨蝴蝶的性別。
- 三、自然光環境下樺斑蝶的幼蟲在綠色葉子結的蛹是綠色的，除此之外在非葉綠素綠色環境下結的蛹是粉紅色的。
- 四、因為自然光環境下樺斑蝶的幼蟲可以感知環境紅光或綠光光元的強弱。當紅光或綠光光元強則以綠色蛹來表現；反之，以粉紅色蛹來表現。
- 五、樺斑蝶幼蟲進入前蛹期時是在非綠色環境下，樺斑蝶幼蟲在化蛹蛻皮時會把蟲體上多餘的綠色色素，隨著蛻皮的過程排出體外以利結出粉紅色的蛹。
- 六、在黑暗環境實驗的一組，樺斑蝶的幼蟲無法感知環境（紅光或綠光光元）的明暗，依照研究結果缺乏光線刺激會導致蛹的顏色非常淺，蛹色的表現以粉紅色為主；也可能會為了增加在未知環境的存活率，隨機的結出綠色蛹和粉紅色的蛹。
- 七、紅、綠、藍、黃、明的各色透光玻璃紙實驗，紅色、綠色及藍色玻璃紙實驗的樺斑蝶幼蟲結的蛹是以粉紅色的為主。因為其中兩種自然光光元被阻擋無法進入，射出的色光就相當弱了。根據(彩色繽紛的世界) 的研究結果與色彩加疊後眼睛感覺環境光線是黑暗的，所以樺斑蝶幼蟲結蛹的顏色和結論六的結果一樣。

- 八、黃色透光玻璃紙讓自然光光元的紅光與綠光透進來形成黃光，根據 LED 實驗結果分析，所以樺斑蝶幼蟲結的蛹是綠色的。
- 九、紅、綠、藍、黃的各色 LED 實驗，藍光 LED 實驗的樺斑蝶幼蟲結的蛹是粉紅色的；紅光、綠光及黃光 LED 實驗的樺斑蝶幼蟲結的蛹是綠色的。
- 十、樺斑蝶的幼蟲除了吃有毒的馬利筋植物蓄積蟲體的毒素來抵禦天敵(臺灣產蝶類的飼育條件與生物特性研究，歐陽盛芝、陳素瓊)，還會在晚上時移到植物的底層，利用植物的高度及隱蔽性來躲避掠食者，因此在清晨時都會發現幼蟲在植物的底層。
- 十一、樺斑蝶的天敵在自然環境中有寄生性天敵如寄生蜂(姬蜂、小繭蜂)、寄生蠅；另一類為捕食性天敵如哺乳類(人)、鳥類、爬蟲類(攀蜥、壁虎、蛇)、兩棲類(蛙)、蜘蛛綱、肉食性昆蟲(螳螂、椿象、大黃蜂)。
- 十二、經由此次觀察與研究我們更加愛護生物，關心生態保護環境讓各種生物在自然環境下生存延續及發展。

捌、其他待研究的問題

為什麼結在金露花與柑橘植物上的蛹會變黑幾乎無法羽化成蝶？

玖、參考資料

- 一、李平篤（生化科技學系教授），2008年5月，臺大校園的蝴蝶（上），椰林風情台大校園雙月刊第57期。
<http://www.alum.ntu.edu.tw/read.php?num=57&sn=1506&check=>
- 二、林福胜(屏東縣東興國小主任)，2006年12月，校園馬利筋與樺斑蝶的邂逅與啟發，特有生物研究保育中心自然保育季刊第56期，37-40頁。
http://tesri.coa.gov.tw/show_index.php
- 三、黃福坤（國立台灣師範大學 物理系教授），彩色繽紛的世界
<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/>
- 四、黃雄仁，2011年，斯氏紫斑蝶及樺斑蝶蛹期顏色變化與背景環境之關連性初探，92頁
- 五、葉哲良(國立清華大學電子工程研究所教授)，蝴蝶媽媽與烏賊小子
http://140.110.18.12:38080/k12_mn_admin/UserFiles/File/user%20define/speech/4.pdf
- 六、童維德、楊平世，1991，樺斑蝶之生物學：產卵行為與各虫期的發育，台大植病所碩士論文，71pp。
- 七、陳仁利，昆蟲文化與鑑賞，廣東科技出版社，2011/08/01 出版
- 八、楊平世，觀螢·賞蝶·覓蟲：臺灣旅遊景點賞蟲趣，健行，2012-02-01 出版
- 九、歐陽盛芝(國立臺灣博物館 典藏管理組)、陳素瓊(國立宜蘭大學 園藝學系教授)，2012年2月，臺灣產蝶類的飼育條件與生物特性研究（四），國立臺灣博物館一〇〇年度研究計畫成果報告。
- 十、游書萍，2008年6月，柑橘鳳蝶基礎生物學之探討，國立宜蘭大學園藝學系研究所碩士論文
- 十一、台灣蝴蝶保育學會 <http://www.butterfly.org.tw/home.php>
- 十二、自然生態學習網 <http://nature.edu.tw/index>
- 十三、教育部教學資源入口網 <https://isp.moe.edu.tw/>
- 十四、維基百科 <http://zh.wikipedia.org>

附件一

壹：研究目的

這個實驗是否也可以套用在其他種類的蝴蝶而有相同的結果。

貳：研究設備及器材

終齡幼蟲、玻璃紙、透明保鮮盒、紙箱、日光燈及細葉碎米薺等食草。

參：研究過程及方法

- 一、觀察幼蟲在自然環境下結蛹的情形。
- 二、終齡幼蟲放入包裹不同顏色玻璃紙的保鮮盒裡，觀察結蛹顏色的變異。
- 三、利用黃光光源照射，觀察幼蟲在紅色花盆及白色支架下結蛹的情形。

肆：研究結果

- 一、我們觀察到紋白蝶終齡幼蟲在白色磁磚及紅色花盆下結出褐色的蛹；在綠色植物葉子及莖幹下會結出綠色的蛹。
- 二、包裹色黃玻璃紙保鮮盒的幼蟲會結出綠色的蛹，其餘顏色裡的幼蟲結出褐色的蛹。
- 三、在紅色花盆及白色支架下紋白蝶幼蟲結出綠色的蛹。
- 四、無尾鳳蝶幼蟲在黃色玻璃紙下，不管平滑粗糙都結綠色的蛹。
- 五、無尾鳳蝶幼蟲在紅色、藍色、綠色下結褐色的蛹。

伍：結論

在黃色光源下幼蟲會結出綠色的蛹。

紋白蝶幼蟲結蛹環境蛹色變異對照表

結蛹環境	綠色植物	白色環境	紅色花盆	透明保鮮盒
自然光				
黃光				

不同顏色的光源鳳蝶幼蟲結蛹的對照表

環境	紅色	藍色	綠色	黃色	透明
光源					
蛹色					

附件二：

壹：研究目的

蝴蝶的幼蟲在綠色植物下會結出綠色的蛹

貳：研究設備及器材

紋白蝶終齡幼蟲、玻璃紙、透明保鮮盒、紙箱、日光燈及細葉碎米薺等食草。

參：研究過程及方法

- 一、將綠色植物盆栽上的終齡幼蟲一起放入包裹不同顏色玻璃紙的方形罩子，以日光燈 24 小時照著，觀察紋白蝶在綠色植物結蛹顏色的變異。
- 二、將綠色植物盆栽上的終齡幼蟲一起放入紙箱中，觀察紋白蝶幼蟲在黑暗環境中在綠色植物結蛹的情形。

肆：研究結果

- 一、在不同顏色的光源下，紋白蝶幼蟲在綠色植物下結出綠色的蛹。
- 二、在黑暗的環境裡，紋白蝶幼蟲在綠色植物下結出綠色的蛹。

伍：結論

在不同顏色的光源下，紋白蝶的幼蟲在綠色植物下會結出綠色的蛹

不同顏色的光源紋白蝶幼蟲在綠色植物下結蛹的對照表

環境	紅色	藍色	綠色	黃色	黑暗
光源					
蛹色					

【評語】 080308

1. 觀察做得頗仔細。
2. 可以思考有毒昆蟲為何有保護色。
3. 應努力將研究量化。