

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生物科

佳作

080301

穿迷彩裝的「蛹」士

-紋白蝶蟲蛹保護色和環境的關係

學校名稱：基隆市七堵區五堵國民小學

作者： 小六 黃晨綱 小五 黃晨耘	指導老師： 覃秀喻 黃本杲
-------------------------	---------------------

關鍵詞：紋白蝶、保護色、蛹

穿迷彩裝的「蛹」士 — 紋白蝶蟲蛹保護色和環境的關係

摘要

紋白蝶的一生中，由卵→菜蟲→蟲蛹，再變化成蝶。蟲蛹期是最危險的時期，蛹不能爬也不能飛，一旦被天敵發現，就只能坐以待斃。因此蟲蛹在自然界要如何利用環境來躲避天敵，保護色就是它生存的保障。我們發現，蛹色都是由褐、灰、綠三色所組成的，有如阿兵哥的迷彩裝。蟲蛹本身會隨著光線明暗度與環境顏色而調整色彩的深淺和色系，讓天敵不易發現。而環境四周的顏色可以穿透蛹殼半透明的淺褐色，使得蛹色和環境顏色融合在一起。小蟲蛹在生存的競賽中所展現出的智慧，堪稱自然界的勇士。

壹、動機

去年，我們種的小白菜上面有許多的菜蟲。過了幾天，我們發現有好幾隻菜蟲不見了，後來在鋁窗上發現一個蟲蛹，蛹色是鋁窗灰褐色。又連續觀察幾天後，蟲蛹中飛出一隻紋白蝶，蟲蛹的保護色不就是綠色的嗎？竟然有灰褐色的(圖 1-1、圖 1-2)！這引起了我們的好奇心，我們想要知道，蛹色的變化是否真的會受環境顏色的影響？而且會不會發生「近朱者赤、近墨者黑」這麼劇烈的變化？



圖 1-1 葉面上綠色的蛹



圖 1-2 鋁窗上灰褐色的蛹

貳、研究目的

- 一、蛹會不會「近朱者赤、近墨者黑」？
- 二、探討蛹色變化是否和環境顏色有關。
- 三、探討蛹色變化是否和光線顏色有關。
- 四、探討蛹色變化是否和光線明暗度有關。
- 五、探討在其他環境結蛹的蛹色變化。

參、研究器材

小白菜種子、花盆 12 盆、培養土、肥料、照度計、數位相機、電腦、彩色印表機、2 開（紅、橘、黃、土黃、藍、綠、黑、白）雲彩紙各一張、鐵絲、2 開（紅、黃、綠、藍、紫）玻璃紙各一張、透明箱 8 個、棉線、尼龍繩、鑷子、膠帶、膠水、白膠、瓦楞紙箱 2 個、鑷子、標本盒 3 個、標籤、剪刀、美工刀、老虎鉗、3x6.5 公分白色雲彩紙 27 張、圖釘、透明塑膠袋、透明塑膠盆、紅色塑膠盆、保鮮膜。

肆、研究過程

一、操作一 種植小白菜

（一）操作說明：

1. 根據去年經驗，小白菜會吸引紋白蝶前來產卵，為確保有足夠的菜蟲讓我們進行實驗，於是我們種植 12 盆小白菜。
2. 為了確保紋白蝶的食料沒有農藥，計畫以自己種植的小白菜飼養菜蟲，不採用市售蔬菜(圖 4-1、圖 4-2)。



圖 4-1 市售小白菜



圖 4-2 吃了市售小白菜的幼蟲

(二) 操作步驟：

1. 拿 12 個花盆分別在盆裡放入泥土與肥料，灑上小白菜種子並定時澆水。
2. 爲了確保有足夠的菜蟲讓我們進行實驗，種植小白菜的花盆放在四樓陽台的窗台較亮的位置，以吸引紋白蝶前來產卵(圖 4-3~圖 4-5)，並讓實驗菜蟲都在同一環境成長(圖 4-6)。



圖 4-3 放在亮處的小白菜吸引紋白蝶產卵



圖 4-4 在葉面上產卵的紋白蝶



圖 4-5 在葉面上的紋白蝶蟲卵



圖 4-6 實驗菜蟲都在同一環境成長

二、實驗一 紋白蝶蛹色變化與環境關係實驗的預備觀察

(一) 實驗說明：

1. 參考前人無尾鳳蝶蛹色變化實驗設計，以玻璃紙控制環境顏色。
2. 本實驗目的爲觀察菜蟲從卵期到成蟲的變化，及觀察紋白蝶菜蟲在不同顏色環境下，會出現哪些蛹色，以利我們設計未來實驗的顏色

記錄對照表，及後續的實驗設計與進行。

3. 控制顏色包含光的顏色，和環境的顏色。
4. 以蟲蛹中間隆起的橫線做區隔，橫線以前為蛹背，對蛹背及尾端兩部分的主要顏色做記錄(圖 4-7)。



圖 4-7 記錄蛹背及尾端兩部分的顏色

(二) 實驗步驟：

1. 拿 2 個透明箱子，分別用膠水在透明箱外的四面貼黃色、藍色的玻璃紙，做成藍箱和黃箱(圖 4-8)，箱子上面不全部黏緊，留活動出入口(圖 4-9)。
2. 拿 1 個透明箱子用透明塑膠袋套住箱子做成塑膠袋透明箱。
3. 觀察菜蟲體長有 3.2 公分或離開食物，到處爬行時(圖 4-10)，且數量超過 10 隻以上，就在黃箱、藍箱、透明塑膠袋箱、透明塑膠盤、紅色塑膠盆，各放進 2 隻菜蟲，也放進足夠的小白菜，以確保菜蟲未結蛹前仍有食物。
4. 將黃箱、藍箱、透明塑膠袋箱放在光線充足的陽台(圖 4-11)，透明塑膠盤、紅色塑膠盆放在室內(圖 4-15、圖 4-16)。
5. 從結蛹的第一天開始觀察蟲蛹的背部、尾端顏色，分別記錄在表一、表二。
6. 我們發現在同環境下的二個蛹，蛹色一致(圖 4-12~圖 4-14)，因此每一環境我們用一組文字描述顏色。



圖 4-8 以透明箱和玻璃紙做成藍箱和黃箱



圖 4-9 活動出入口



圖 4-10 離開食物，到處爬行



圖 4-11 黃箱、藍箱、透明箱放在光線充足的陽台



圖 4-12 黃箱的蛹色



圖 4-13 藍箱的蛹色



圖 4-14 透明箱的蛹色



圖 4-15 在透明塑膠盤邊緣的蟲蛹



圖 4-16 在紅色塑膠盆的蟲蛹

表一：實驗一背部蛹色紀錄表

蛹日期	1/20	1/21	1/22	1/23	1/24	1/25	1/26	1/27	1/28	1/29	1/30	2/1	2/2	2/3
黃箱	深綠	深綠	石綠	褐綠	褐綠	褐綠	綠	綠	綠	綠	綠	綠		
藍箱	灰	灰	褐灰	褐灰	褐灰	褐	灰綠	灰綠	灰綠	褐	褐	灰綠	灰綠	灰綠
塑膠袋箱	深綠	深綠	深綠	褐綠	褐綠	綠	石綠	石綠	石綠	綠	綠	灰綠	灰綠	灰綠
透明膠盤	褐綠	褐綠	粉綠	土褐綠	土褐綠	褐綠	灰綠	灰綠	灰綠	褐	褐	褐灰	褐灰	褐灰
紅膠盆	黑綠	黑綠	石綠	深綠	深綠	深綠	石綠	石綠	石綠	深綠	深綠	灰綠	灰綠	灰綠

表二：實驗一尾端蛹色紀錄表

蛹日期	1/20	1/21	1/22	1/23	1/24	1/25	1/26	1/27	1/28	1/29	1/30	1/31	2/1	2/2	2/3
黃箱	灰白	灰白	白綠	灰白	灰白	白	黃	黃	黃	白	白	白	白		
藍箱	白	白	白綠	綠	綠	褐	灰白	灰白	灰白	白	白	白	白	白	
塑膠袋箱	黑	灰黑	白	白	白	白	灰白	灰白	灰白	白	白	白	白	白	
透明膠盤	黑	灰黑	灰白	白	白	白	白	白	白	白	白	白	白	白	
紅膠盆	黑	灰黑	粉白	白	白	白	白	白	白	白	白	白	白	白	

三、操作二 設計記錄色票

(一) 操作說明

1. 根據實驗一出現的蛹色決定色票色系。
2. 美工設計使用的色票色系複雜，和上學期電腦課教的網頁製作比較，網頁表格背景色設定使用的常用顏色表較單純，因實驗一初步觀察蛹色變化色系僅綠、褐、灰三種，所以選用後者較單純的顏色表。
3. 經討論後，灰藍未在蛹色出現，所以去除偏藍的灰色。綠色變化多，有純綠的，也有偏石綠或橄欖綠的，石綠、土黃、褐、灰色出現層次較多，所以以這四色設計一從濃到淡的色票。另外設計一綠到橄欖綠的色票，共五系色票。
4. 由於螢幕顯示是使用三色光色系(RGB)，而印表機的輸出使用三原色色系(CYMK)，列印輸出過程中兩者的轉換常會造成顏色的誤差，或者使用不同型號的印表機，列印的結果也會有所差異。為了減少這種誤差，我們參考印表機的使用手冊，對青、黃、紅、黑(CYMK)的濃度做調整，以讓輸出色票的顏色與螢幕呈現的顏色相同。

(二) 操作步驟

1. 從綠、褐、灰三色系選定顏色，並使用網頁自由軟體 NVU 繪製表格，以各顏色之 RGB 值設定各儲存格之背景顏色。
2. 每個色系做一條色票，每個顏色標示編號與 RGB 十六進位值。石綠色系為 MG1~MG9，綠至橄欖綠為 GN1~GN9，黃褐色為 YB1~YB9，褐色為 BR1~BR9，灰色為 GR1~GR9(圖 4-17)。
3. 使用 HP Color LaserJet CP2020 彩色雷射印表機列印色票，並以這台印表機的分印管理程式 HP ToolboxFX(圖 4-18、4-19)對青、黃、紅、黑(CYMK)的濃度做調整，並比對列印結果是否與螢幕顏色相符並比對印出的結果是否與螢幕色彩一致。(圖 4-20)

MG1 #2E8B57	MG2 #3CB371	MG3 #43CD80	MG4 #00FF7F	MG5 #00FA9A	MG6 #8FB98	MG7 #8FBC8F	MG8 #66CDAA	MG9 #20B2AA
GN1 #228B22	GN2 #32CD32	GN3 #00FF00	GN4 #7FFF00	GN5 #9ACD32	GN6 #C0FF3E	GN7 #CD0000	GN8 #8B0000	GN9 #6B8E23
YB1 #8B6508	YB2 #8B7500	YB3 #CDAD00	YB4 #E8B422	YB5 #E8C900	YB6 #CDBE70	YB7 #E8B76B	YB8 #E8C32	YB9 #FFD8F
BR1 #8B7355	BR2 #CDAAD7	BR3 #FFD39B	BR4 #FFDAB9	BR5 #FFB6C4	BR6 #FFD5D5	BR7 #FDF5E6	BR8 #FFFAF0	BR9 #FFF5FA
GR1 #8C8C8C	GR2 #707070	GR3 #585858	GR4 #999999	GR5 #ADADAD	GR6 #B8B8B8	GR7 #D6D6D6	GR8 #E8E8E8	GR9 #E8E8E8

圖 4-17 設計比對記錄蛹色的色票



圖 4-18 透過印表機管理軟體
調整列印顏色

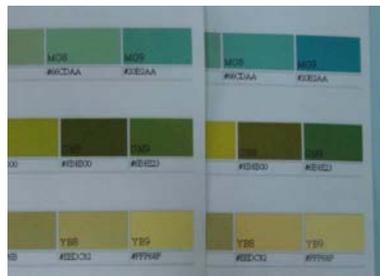


圖 4-19 不同濃度設定產生不同
列印結果

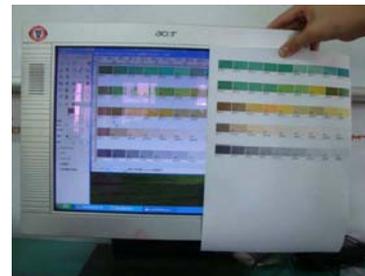


圖 4-20 將列印結果與螢幕預
期顏色做比對

四、實驗二 紋白蝶蛹色變化與環境顏色的關係

(一) 實驗說明

1. 在文具店選購 8 種常用顏色紙，設計 8 種不同顏色環境，分別是綠、橘、黃、土黃、藍、紅、白及黑。由於要放在明亮處，所以選用褪色較慢的雲彩紙。
2. 爲了避免菜蟲爬出我們所控制的範圍，每一紙盒均以棉線懸掛。
3. 受限於菜蟲數量，且實驗一的一致性高，所以每種顏色放 3 隻菜蟲，如實驗中菜蟲死亡或無法順利結蛹再補放菜蟲且重新記錄。如 3 隻結果差異性大，則另外再加 3 隻做觀察。
4. 各組的菜蟲結蛹時間不定，3 隻可能不在同一天結蛹，所以記錄改以第幾天表示，以利於比較。
5. 以蟲蛹中間隆起的橫線做區隔，橫線以前爲蛹背，橫線以下爲尾部，對此兩部分的主要顏色做記錄(圖 4-21)，如果呈現的主要顏色約爲 1:1 或 2:1 時就兩個都記錄。

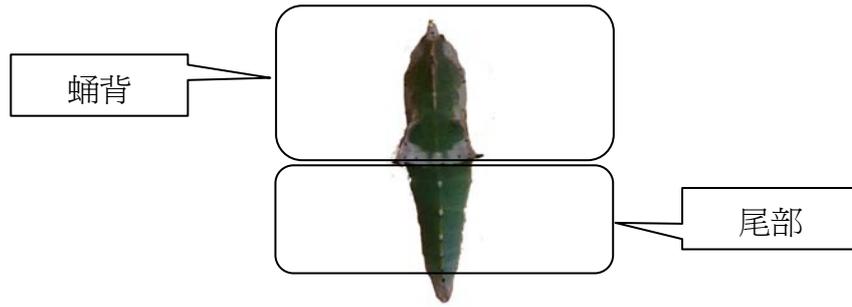


圖 4-21 記錄蛹背及尾部兩部分的顏色

(二) 實驗步驟

1. 用半開的雲彩紙做成正方形的紙盒，並用膠帶將縫隙封緊(圖 4-22)，避免菜蟲在縫隙結蛹，而無法觀察。
2. 用鑽子在四邊各鑽一個洞，且綁上棉線，用尼龍繩將 8 個紙盒吊起來(圖 4-23)。
3. 觀察菜蟲體長有 3.2 公分或離開食物，到處爬行且數量超過 24 隻以上，就分別放進紙盒，每盒放 3 隻，也放進足夠的小白菜，以確保菜蟲未結蛹前仍有食物(圖 4-24)。
4. 每一組蟲蛹分別以結蛹前後順序來編號(圖 4-25)。
5. 從結蛹的第一天開始每天觀察蟲蛹的背部、尾部主要顏色(圖 4-26~4-33)，並參照色票(圖 4-17)顏色代碼，分別記錄在表三、表四。
6. 觀察期間，出現蛹色不一致的組別，追加放 3 隻菜蟲觀察。
7. 每一組的三個蟲蛹都破蛹化蝶後，就用剪刀將蛹殼取下，再將蛹殼按編號順序用白膠黏在 3*6.5 公分的白色雲彩紙上放入標本盒。
8. 將蛹殼顏色記錄在表五。



圖 4-22 用雲彩紙做方形紙盒



圖 4-23 用尼龍繩將 8 個紙盒吊起



圖 4-24 將快結蛹的菜蟲放進紙盒



圖 4-25 以結蛹前後順序編號



圖 4-26 橘色環境綠色的蛹

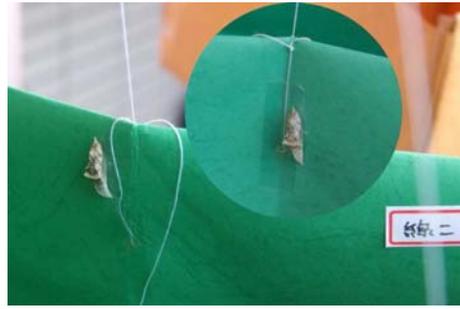


圖 4-27 綠色環境灰綠色的蛹



圖 4-28 土黃色環境深灰色與深綠色的蛹



圖 4-29 黃色環境綠色的蛹



圖 4-30 藍色環境深綠色與灰色的蛹



圖 4-31 紅色環境深灰色的蛹



圖 4-32 白色環境淡褐色的蛹



圖 4-33 黑色環境深灰色的蛹

表三：實驗二背部蛹色記錄表

天	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
橘一	GN1	GN1	GN1	GN1	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1										
橘二	GN1	GN1	GN1	GN1	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1										
橘三	GN1	GN1	GN1	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1											
綠一	MG1	MG1	MG1	MG1	GR5+MG1	GR5+MG1	GR5+MG1	GR5+MG1	GN9	GN9	GN9	GN9										
綠二	MG1	MG1	MG1	MG1	GR5+MG1	GR5+MG1	GR5+MG1	GR5+MG1	GN9	GN9	GN9	GN9										
綠三	GR5+MG7	YB6+GR3	GN9	YB7+GN9	YB2	YB2	YB2	YB2	YB7	YB7+GN9	YB7	YB7										
黃一	GN2	GN2	GN2	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	GN2	GN2	GN2	GN2										
黃二	GN2	GN2	GN2	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	GN2	GN2	GN2	GN2										
黃三	GN2	GN2	GN2	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	GN2	GN2	GN2	GN2										
土黃一	GR1	GR1	GR3	GR1	GR7	GR7	GR7	GR1	GR1	GR1	GR1											
土黃二	GN1	GN1	GN1	GN1	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1										
土黃三	GR1	GR1	GR2	GR1	GR7	GR7	GR7	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1										
藍一	GR1	GR1	GR2	GR1	GR1	YB7	YB6	YB2	GR1	GR2	GR2	GR2										
藍二	GN1	GN1	GN1	GN1	GN1	GN1	GN3	MG3	MG1	GN1	GN1	GN1										
藍三	GN1	GN1	GN1	GN1	GN1	GN3	GN3	GN3	MG1	MG1	MG1	MG1										
紅一	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1+YB1	GR1+YB1	GR1+YB1	GR1	BR1	BR1	BR1										
紅二	GR2	GR2	GR2	GR2	GR2	GR2	GR1	GR1	GR1	BR1	BR1	BR1										
紅三	YB1	GR1	GR1	BR1	BR1	BR1																
白一	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7																	
白二	YB7	YB7	YB7	YB7	GN6	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7										
白三	MG2	YB7	YB7	YB7+GN9	YB7	YB7																
黑一	GR1	GR1	GR1	GR1																		
黑二	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1																	
黑三	GR1																					
藍四	YB1+MG1	BR2+MG1	BR2+MG1	BR2+MG1	BR2+MG1	BR2+MG1	YB1+GR1	YB1+GR1														
藍五	GN1	GN1	BR1+GN1	BR1+GN1	BR1+GN1	BR1+GN1	BR2+GN1	BR2+GN1														
藍六	GN1	GN1	BR1+GN1	BR1+GN1	BR1+GN1	BR1+GN1	BR2+GN1	BR2+GN1														
土黃四	GN1	GN9	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1															
土黃五	GN1	GR1																				
土黃六	GN1	GN9	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1														

表四：實驗二尾部蛹色紀錄表

天	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
橘一	GN1	MG4	GN1	GN1	MG4	MG4	MG4	MG4	MG4	MG4	MG4	MG4	MG4	MG4	MG4	MG4	MG4	MG4	MG4	MG4	MG4
橘二	GN1	GN1	GN1	GN1	MG4	MG4	MG4	MG4	MG4	MG4	MG4	MG4	MG4	MG4	MG4	MG4	MG4	MG4	MG4	MG4	MG4
橘三	GN1	GN1	GN1	MG4	MG4	MG4	MG1	MG1	MG1	GN3											
綠一	MG1	MG1	MG1	MG1	GR5+MG1	GR5+MG1	GR5+MG1	GR5+MG1	GR5+MG1	GN9											
綠二	MG1	MG1	MG1	GR5+MG1	GR5+MG1	GR5+MG1	GR5+MG1	GR5+MG1	GN9+GR2	GN7											
綠三	MG1	MG1	MG1	GN9+MG1	GN7+MG1	GN7+MG1	GN7+MG1	GN7+MG1	GN7+MG1	GN7											
黃一	GN2	GN2	GN2	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2
黃二	GN2	GN2	GN2	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2
黃三	GN2	GN2	GN2	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2	GN2
土黃一	GR1	GR1	GR3	GR3	GR1	GR1	GR1	GR5+YB9	GR5	GR5	GR5	GR5	GR5	GR5	GR5	GR5	GR5	GR5	GR5	GR5	GR5
土黃二	GN1	GN1	GN1	GN1	MG4	MG1	MG1	MG4	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1
土黃三	GR8	GR8	GR8	GR8	GR1	GR1	GR1	GR5+YB9	GR5	GR5	GR5	GR5	GR5	GR5	GR5	GR5	GR5	GR5	GR5	GR5	GR5
藍一	GR3	GR3	GR3	GR3	GR3	YB7	YB6	YB2	GR4	GR2											
藍二	GN1	GN1	GN1	GN1	GN1	GN1	GN3	MG3	MG1	GN1											
藍三	GN1	GN1	GN1	GN1	GN1	GN3	GN3	GN3	MG1	GN1											
紅一	GR2	GR2	GR2	GR2	GR2	GR1+YB1	GR1+YB1	GR1+YB1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1
紅二	GR2	GR2	GR2	GR2	GR2	GR2	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1
紅三	YB1	GR1	GR1	BR1	BR1	BR1															
白一	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7								
白二	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7								
白三	MG2	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7							
黑一	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1								
黑二	GR7	GR7	GR7	GR7	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1	GR1
黑三	GR1																				
藍四	YB1+MG1	BR2+MG1	BR2+MG1	BR2+MG1	BR2+MG1	BR2+MG1	YB1+GR1	YB1+GR1													
藍五	GN1	GN1	BR1+GN1	BR1+GN1	BR1+GN1	BR1+GN1	BR2+GN1	BR2+GN1													
藍六	GN1	GN1	BR1+GN1	BR1+GN1	BR1+GN1	BR1+GN1	BR2+GN1	BR2+GN1													
土黃四	GN1	GN9	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1														
土黃五	GN1	GR1	GR2	GR1	GR1	GR1	GR1														
土黃六	GN1	GN9	MG1	MG1	MG1	MG1	MG1														

表五：環境顏色 8 組蛹殼顏色紀錄表

編號 ＼ 組	橘組	黃組	綠組	紅組	黑組	白組	土黃組	藍組
編號一	YB8 	YB9 	YB7 	BR1+GR1 	GR1 	BR2 	BR1 	BR1 
編號二	YB8 	YB9 	YB7 	BR1+GR1 	GR1 	BR2 	YB8 	YB8 
編號三	YB8 	YB9 	YB7 	BR1+GR1 	GR1 	BR2 	GR1 	BR1 
編號四							YB7 	BR1 
編號五							BR1 	BR1 
編號六							YB7 	GR1 

五、實驗三 紋白蝶蛹色變化與光線顏色的關係

(一) 實驗說明

1. 電腦課時老師說過螢幕顏色以色光呈現，電色光表示方式多採用 RGB 數值，也就是紅、綠、藍三色光的值，再加上市售常見的黃色和紫色，本實驗設計成五組做觀察。
2. 事先測量光罩內的亮度是爲了方便於與實驗四做比較。

(二) 實驗步驟

1. 用膠帶把四根鐵絲網綁成一個半橢圓形的罩子骨架，一共製成 5 個。
2. 分別把不同顏色的玻璃紙貼在 5 個罩子骨架上(圖 4-34)，做成紅色、綠色、黃色、藍色、紫色等 5 種顏色的光罩。
3. 觀察菜蟲體長有 3.2 公分或離開食物，到處爬行且數量超過 15 隻以上時，在 5 個透明箱內分別放入 3 隻菜蟲和茶葉，敷上保鮮膜，以防止菜蟲爬出來，並且用圖釘把保鮮膜戳洞做爲通氣孔。如實驗中菜蟲死亡或無法順利結蛹再補放菜蟲且重新記錄。
4. 將 5 個透明箱放在完全光亮的窗邊地上，用罩子分別罩上透明箱(4-35)。
5. 光亮窗邊地上罩子內的亮度用照度計分別測量，把亮度記錄在表六(圖 4-36)。
6. 每一組蟲蛹分別以結蛹前後順序來編號。
7. 從結蛹的第一天開始觀察蟲蛹的背部、尾部主要顏色(圖 4-38 ~

4-42)，並參照色票(圖 4-17)顏色代碼，分別記錄在表七、表八(圖 4-37)。

8. 每一組的 3 隻菜蟲都結蛹後，就把保鮮膜拿掉。
9. 每一組的 3 個蟲蛹都破蛹化蝶後，就用剪刀或美工刀將蛹台刮下，再將蛹殼按照編號順序用白膠黏在 3*6.5 公分的白色雲彩紙上放入標本盒。
10. 將蛹殼顏色記錄在表九。



圖 4-34 製作不同顏色光罩



圖 4-35 將五個罩光罩透明箱放光亮的窗邊地上



圖 4-36 用照度計測量光罩內量度

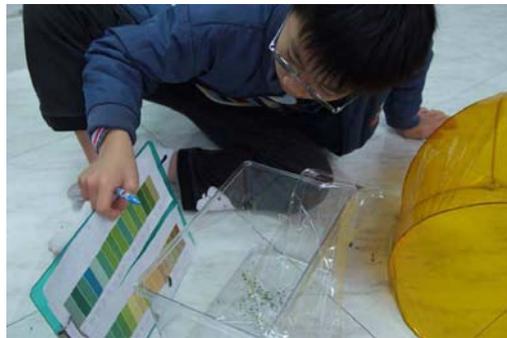


圖 4-37 參照色票顏色代碼觀察記錄



圖 4-38 藍色光罩淺褐色的蛹



圖 4-39 綠色光罩綠色的蛹



圖 4-40 紫色光罩褐色的蛹



圖 4-41 紅色光罩褐綠色的蛹



圖 4-42 黃色光罩淺綠色的蛹

表六 不同顏色光罩明暗度記錄

亮度組	黃光	紅光	紫光	綠光	藍光
LUX	330	94	21	90	44
*測量時間：98/03/07 08:42~08:46 天氣：晴					

表七 實驗三背部蛹色紀錄表

天	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1 3
藍光一	GN8+GN 1	YB7+GN 1	YB7+GN 1	BR3+BR 1	YB6	YB6	YB7	GN 9	YB7	YB7	YB7	MG 3	
藍光二	GN8+GN 1	YB6	YB6	YB6	YB6	BR2	BR2	YB 7	YB7	YB7	MG 3		
藍光三	GN8+GN 1	YB7+GN 1	MG3	BR3+BR 1	YB6	YB6	YB7	GN 9	YB7	YB7	YB7	MG 3	
綠光一	GN3	GN 3	GN6	GN3	MG 3								
綠光二	GN9+YB 7	GN3+YB 7	YB7	GN2	GN3	GN3+YB 7	GN3+BR 2	GN 3	GN3	YB6	MG 3	GN3	
綠光三	GN1	YB7	GN1	GN2	YB7+BR 2	GN3+BR 2	GN3	GN 3	GN9	MG3	GN3		
紫光一	GN8+GN 1	BR1+GR 7	BR1	BR2	BR1	BR2	BR1	BR1	BR1	YB6	YB6		
紫光二	BR2+BR1	BR2	BR2	BR2	YB8	BR2	BR1	BR2	YB6	YB6	YB7		
紫光三	GN1	GN1	BR1	BR2	BR1	BR2	BR1	YB 6	GN9+YB 7	YB7	BR2		
紅光一	MG7	YB1	BR1	BR2+BR 1	GR6	YB7	YB7	BR2	BR2	YB7	YB7		
紅光二	GN2	GN3	GN3	GN3	GN3	GN3	GN2	YB 7	YB7	YB7+GN 9	GN3		
紅光三	YB6	YB6	YB6	BR2+BR 1	GR6+YB 7	YB7	YB7	YB 7	YB7	YB7	YB7		
黃光一	MG2	GN4	GN3	GN3	MG4	GN3	GN3	GN 3	GN3	GN9	GN9		
黃光二	MG4	BR2	YB6	YB6	YB7	YB1	YB7+GN 3	GN 6	YB7	GN3	YB7		
黃光三	GN3	GN 9	YB7	MG3	GN3								

表八 實驗三尾部蛹色紀錄表

天	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
藍光一	GN8+GN1	YB7+GN1	YB7	MG7	GR5	YB6	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	MG3	
藍光二	GN8+GN1	YB6	BR2	GR5	BR2	BR2	BR2	YB7	YB7	YB7	MG3		
藍光三	GN8+GN1	YB7+GN1	MG3	MG7	GR5	YB6	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	MG3	
綠光一	GN3	GN3	GN3	GN3	GN3	GN3	GN3	GN3	GN6	GN3	MG3		
綠光二	GN2	GN2	GN3	GN2	GN4	GN3	GN3	GN3	GN3	YB2	MG3	GN3	
綠光三	GN1	GN3	MG4	GN2	GN3	GN3	GN3	GN3	GN9	MG3	GN3		
紫光一	GN8+GN1	GR4	BR2	BR2	BR2	BR4	BR2	BR2	BR2	YB6	YB6		
紫光二	GR4	BR2	BR2	YB6	GR8	BR2	BR2	BR2	YB6	YB6	YB7		
紫光三	GN8+GN1	GN1	YB7	GR7	GR1	GR1	BR1	YB6	GN9+YB7	YB7	BR2		
紅光一	MG7	YB1	BR2	BR2+BR1	YB7	YB7	YB7	BR2	BR2	YB7	YB7		
紅光二	GN3	GN3	GN3	MG1	GN3	GN3	GN3	GN6	GN9	GN3	GN3		
紅光三	YB2	YB6	YB6	BR2+BR1	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7	YB7+GN9	YB7		
黃光一	MG2	GN4	GN3	GN3	MG4	GN3	GN3	GN3	GN3	GN9	MG1		
黃光二	GN1	YB7	YB7	YB6	GN3	GN3	GN6	GN6	YB7	GN3	YB7		
黃光三	GN3	GN3	YB8	GN3	GN3	GN3	GN3	GN9	YB7	MG3	GN3		

表九 光線顏色 5 組蛹殼顏色紀錄表

編號組	黃光組	紅光組	紫光組	綠光組	藍光組
編號一	BR3 	BR1 	BR1+GR1 	BR2 	BR1 
編號二	BR3 	BR2 	BR1 	BR2 	BR2 
編號三	BR3 	BR2 	BR1+GR1 	BR2 	BR2 

六、實驗四 紋白蝶蛹色變化與光線明暗度的關係

(一) 實驗說明

1. 本實驗主要是比較不同亮度蛹色的變化。
2. 設計明亮、陰暗與黑暗三組做探討。

(二) 實驗步驟

1. 把光亮組的透明箱放置在完全亮的窗戶旁(圖 4-43)，陰暗組的透明箱放在有兩邊白牆一面窗簾遮住的室內(圖 4-44)，黑暗組的透明箱用 2 個瓦楞紙箱上下蓋住的牆邊(圖 4-45)。
2. 因為放置的位置不同，3 個透明箱底部貼上 A4 的白紙。
3. 觀察菜蟲體長有 3.2 公分或離開食物，到處爬行且數量超過 9 隻以上時，3 個透明箱分別放入 3 隻菜蟲和菜葉，敷上保鮮膜，再用圖釘把保鮮膜戳洞做為通氣孔。如實驗中菜蟲死亡或無法順利結蛹再補放

菜蟲且重新記錄。

4. 每日早上 10 點 20 分(10:20~10:30 之間)使用照度計測量每個透明箱擺放位置的亮度並記錄在表十(圖 4-45)。
5. 每組蟲蛹分別以結蛹前後順序來編號。
7. 從結蛹的第一天開始觀察蟲蛹的背部、尾部顏色(圖 4-47~4-49)，分別記錄在表十一、表十二。
8. 每一組的 3 隻菜蟲都結蛹後，就把保鮮膜拿掉。
9. 每一組的 3 個蟲蛹都破蛹化蝶後，就用剪刀或美工刀將蛹台刮下，再將蛹殼按編號順序用白膠黏在 3*6.5 公分的白色雲彩紙上放入標本盒(圖 4-46)。
- 10.將蛹殼顏色記錄在表十三。



圖 4-43 光亮組的透明箱



圖 4-44 陰暗組的透明箱



圖 4-45 黑暗組的透明箱及亮度測量



圖 4-46 製作蛹殼標本



圖 4-47 黑暗組的蛹



圖 4-48 陰暗組的蛹



圖 4-49 明亮組的蛹

表十 亮度記錄表(單位：Lux)

日期組	明亮組	陰暗組	黑暗組
3/9	★	46	0
3/10	★	59	0
3/11	5350	37	0
3/12	1686	262	0
3/13	5930	461	0
3/14	1152	71	0
3/15	2860	319	0
3/16	2380	441	0
3/17	3230	401	0
3/18	3160	216	0
3/19	2640	309	0
3/20	3920	159	0
平均值	3230.8	231.75	0
*亮度超過照度計的最大測量範圍以★表示			

表十一 實驗四背部蛹色紀錄表

天	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
黑暗一	G N1	GN1	GN1+ GR1	GN1+ GR1	GN1+ BR1	GN1+ BR1	GN1+ BR1	YB1+ BR2	YB2+ BR2	YB2+ BR2	YB2+ BR2	YB2+ BR2	YB2+ BR2	
黑暗二	G N1	GN1	GN1+ GR1	GN1+ GR1	GN1+ BR1	GN1+ BR1	GN1+ BR1	YB1+ BR2	YB2+ BR2	YB2+ BR2	YB2+ BR2	YB2+ BR2	YB2+ BR2	
黑暗三	G N1	GN1	GN1	GN1	GN1+ BR2									
陰暗一	M G2	MG2 +YB7	YB7+ GN9	MG2										
陰暗二	M G2	MG2 +YB7	YB7+ GN9											
陰暗三	M G2	MG2 +YB7	YB7+ GN9											
明亮一	Y B7	YB7	YB7	YB6	YB7	YB6	YB6	YB6	YB6	YB6				
明亮二	Y B7	YB7	YB7	YB6	YB7	YB6	YB6	YB6	YB6	YB6				
明亮三	Y B7	YB7	YB7	YB6	YB7	YB6	YB6	YB6	YB6	YB6				

表十二 實驗四尾部蛹色紀錄表

天	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
黑暗一	G N1	GN1	GN1+ GR1	GN1+ GR1	GN1+ BR1	GN1+ BR1	GN1+ BR1	YB1+ BR2	YB2+ BR2	YB2+ BR2	YB2+ BR2	YB2+ BR2	YB2+ BR2	
黑暗二	G N1	GN1	GN1+ GR1	GN1+ GR1	GN1+ BR1	GN1+ BR1	GN1+ BR1	YB1+ BR2	YB2+ BR2	YB2+ BR2	YB2+ BR2	YB2+ BR2	YB2+ BR2	
黑暗三	G N1	GN1	GN1	GN1	GN1+ BR2									
陰暗一	M G2	MG2+ YB7	GN9	GN9	GN9	GN9	GN3	YB7+ GN9	YB7+ GN9	YB7+ GN9	MG2			
陰暗二	M G2	MG2+ YB7	GN9	GN9	GN9	GN9	GN3	YB7+ GN9	YB7+ GN9	YB7+ GN9	YB7+ GN9			
陰暗三	M G2	MG2+ YB7	GN9	GN9	GN9	GN9	GN3	YB7+ GN9	YB7+ GN9	YB7+ GN9				
明亮一	Y B7	YB7	YB7	GN8	YB7	YB6	YB6	YB6	YB7	YB7				
明亮二	Y B7	YB7	YB7	GN8	YB7	YB6	YB6	YB6	YB7	YB7				
明亮三	Y B7	YB7	YB7	GN8	YB7	YB6	YB6	YB6	YB7	YB7				

表十三: 實驗四光線明暗度 3 組蛹殼顏色紀錄表

編號組	黑暗組	陰暗組	光亮組
編號一	BR1 	BR2 	BR2 
編號二	BR1 	BR2 	BR2 
編號三	BR2 	BR2 	BR2 

七、觀察一 在其他環境結蛹的蛹色觀察

(一) 觀察說明

1. 本研究實驗常在非預期的位置發現蟲蛹，如花盆四周、牆壁、窗戶或書桌等，不時有意外發現。於是我們尋找在飼養區周圍的蟲蛹，觀察蛹色的變化並與前面的實驗做比較。
2. 將這些蛹殼收集起來並做蛹殼顏色比對。

(二) 觀察記錄

1. 找出其他位置結的蟲蛹，玻璃窗上蛹色是灰白，灰色鋁窗框上是灰色，水泥邊緣是深灰色，粉紅色磁磚和書桌下是淡褐色，垂直桌腳與紅褐色花盆上是深綠，白色茶梗子上的是淺綠，書桌抽屜裡與花盆凹縫都是咖啡色(圖 4-50~4-57)。
2. 用剪刀或美工刀將蛹台刮下，再將蛹殼用白膠黏在 3*6.5 公分的白色雲彩紙上放入標本盒。
3. 蛹色與蛹殼顏色記錄於表十四。



圖 4-50 玻璃窗上的蛹色呈灰白



圖 4-51 灰色窗框上的蛹色呈是灰色



圖 4-52 水泥邊緣是深灰色



圖 4-53 粉紅色磁磚的蛹色呈淡褐色



圖 4-54 垂直桌腳的蛹色呈深綠色



圖 4-55 紅褐色花盆上的蛹色呈深綠色



圖 4-56 菜梗上淺綠色的蛹



圖 4-57 書桌抽屜裡咖啡色的蛹

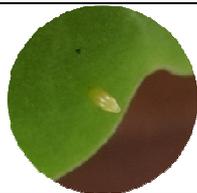
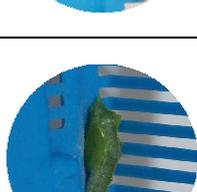
表十四 其他位置蛹色與蛹殼顏色紀錄表

位置(*數量)\ 顏色	蛹色	蛹殼
灰色玻璃窗(*1)	灰白	BR2 
淺粉色磁磚(下方亮處) (*1) (上方近天花板暗處) (*1)	淡褐 深綠	YB8  BR1 
紅褐色花盆四周(*3)	深綠	BR1  、BR1  、BR1 
垂直桌腳背光處(*1)	暗綠	BR1 
灰色鋁框(*2)	灰	BR1  、BR1 
白色菜梗子(*3)	淺綠	YB8  、YB8  、BR2 
咖啡色書桌抽屜(*3)	深褐	BR1+GR1  、BR1+GR1  、 BR1+GR1 
紅褐花盆凹縫(*3)	深褐	BR1+GR1  、BR1  、BR1+GR1 
灰水泥(*2)	深灰	YB8  、YB8 

伍、研究結果與討論

- 一、從實驗一「紋白蝶蛹色變化與環境關係預備觀察」發現紋白蝶的蛹色會隨環境而改變，在黃箱、藍箱及透明箱下，各組顏色都有一致性變化，色系以灰、褐、綠為主。
- 二、從實驗一的觀察，紋白蝶卵期約 2 至 3 天，外觀是黃色砲彈狀。幼蟲的特徵是有 10 個氣孔和 10 對腳，幼蟲期約 13 天。前蛹期約 2 天，幼蟲會有不安的現象，等找結蛹的地方，才會扭動把自己固定住並且不動。蛹的特徵是頭前面有一個尖尖的東西，中間會隆起兩個刺子，約 8~22 天成蟲破蛹而出(表十五)。在菜蟲出現前蛹期現象，且尚未開始製作蛹臺時，是把菜蟲移至控制環境的最佳時機。

表十五 紋白蝶幼蟲的生長過程

階段	外觀	時間	
卵期	黃色砲彈狀	約 2 至 3 天	
幼蟲期	有 10 個氣孔和 10 對腳，體表有細毛，背上有一條明顯的黃線	約 13 天	
前蛹期	全身緊縮，用小絲墊將尾端固定在支撐物，前半身左右搖擺，製作蛹臺	約 2 天	
蛹期	頭前面有一個尖尖的東西，中間會隆起兩個刺子，剛蛻完皮的蛹色是綠色的	約 8~22 天	
破蛹	從頭部爬出蛹殼，排出紅褐色液體，晾乾翅膀才能飛行	1~4 小時晾乾翅膀	

三、將實驗二「紋白蝶蛹色變化與環境顏色關係」以影像軟體(GIMP)繪成漸變圖(圖 5-1、圖 5-2)，發現以下現象：

- (一) 紋白蝶蛹色在鮮艷或明亮的環境，如：橘色、黃色、綠色呈綠色，但也有少數例外，如藍組、土黃組 3 隻顏色不一。經各追加 3 隻後，發現藍組出現三組蛹色：綠褐色占 3/6、綠色占 2/6、深灰占 1/6；土黃組的兩組色系各占 3/6，精確比例則有待用更多的菜蟲做進一步的實驗統計。
- (二) 在不鮮艷的顏色環境，如：藍色、白色環境，多呈淡褐色。在較深的顏色環境，如紅色、黑色環，則多呈深灰色，其中又以黑色環境的蛹色最暗。

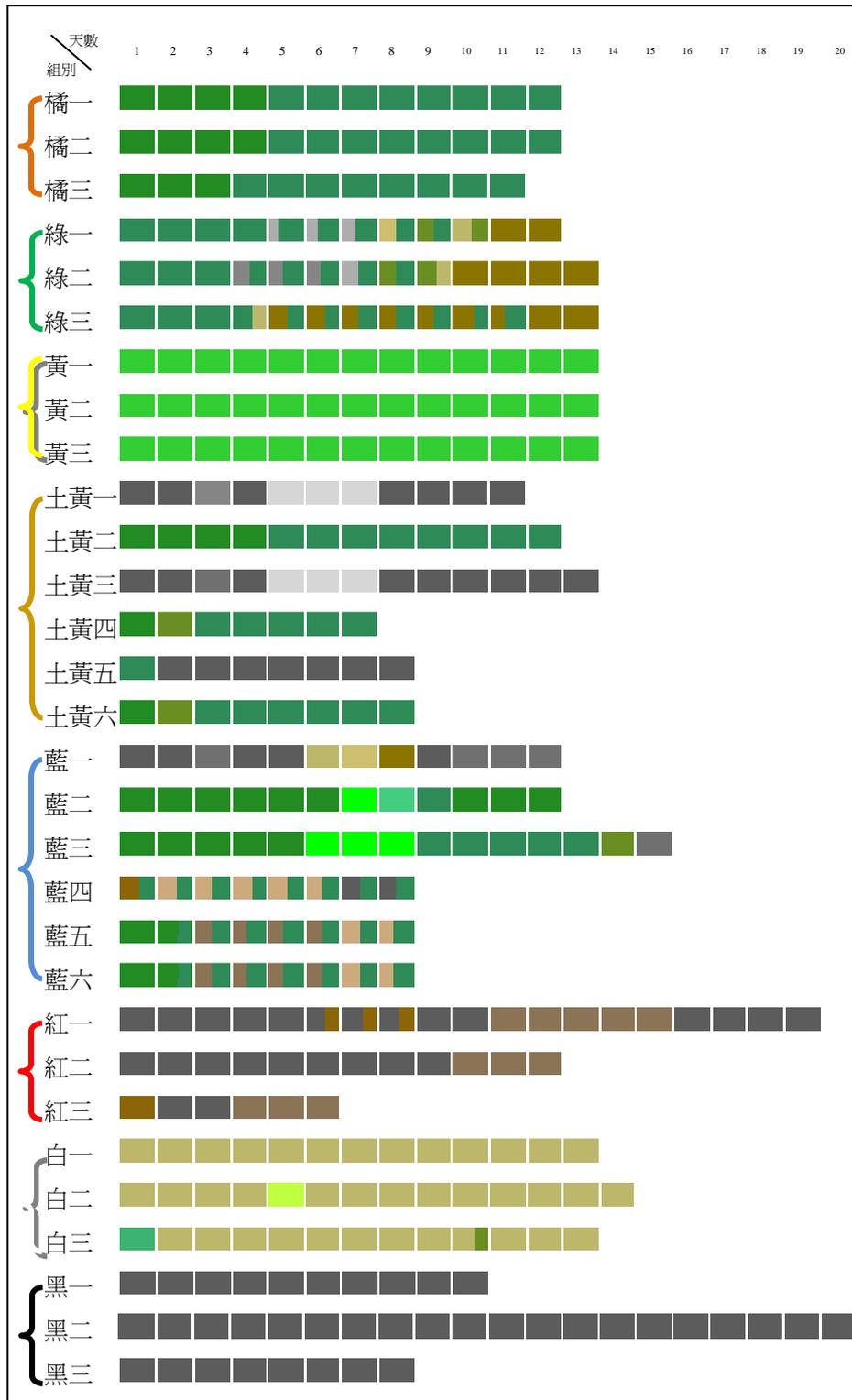


圖 5-1 紋白蝶背部蛹色變化與環境顏色關係圖

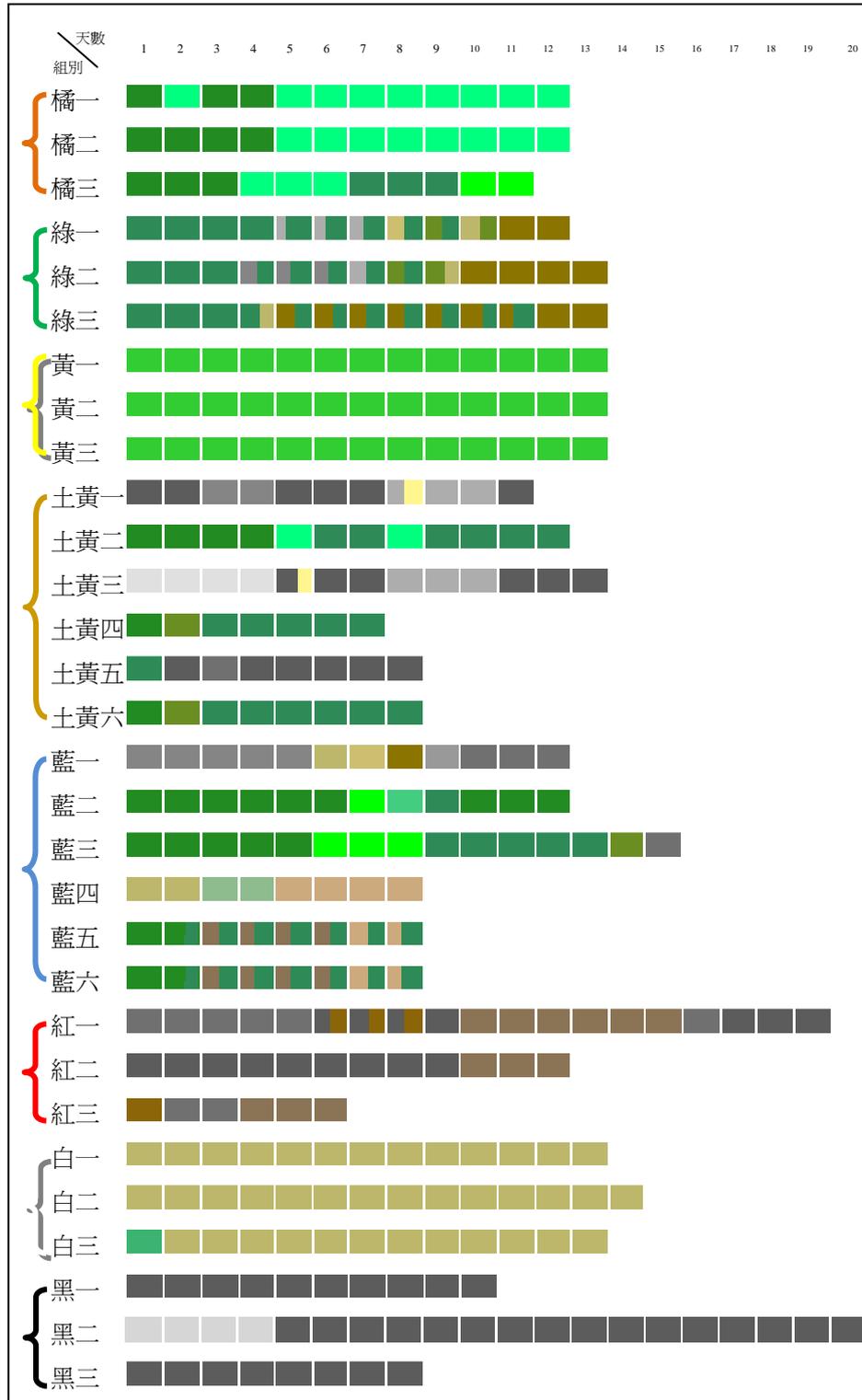


圖 5-2 紋白蝶尾部蛹色變化與環境顏色關係圖

四、從實驗三「紋白蝶蛹色變化與光線顏色的關係」(圖 5-3、圖 5-4)我們發現：

- (一) 在黃光和綠光的環境下，蛹色較綠。
- (二) 在藍光、紫光環境的蛹色，呈淡褐色。

(三) 在紅光環境的蛹色較不一致，有 2 個呈淡褐色，1 個呈綠色，精確比例則有待用更多的菜蟲做進一步的實驗統計。

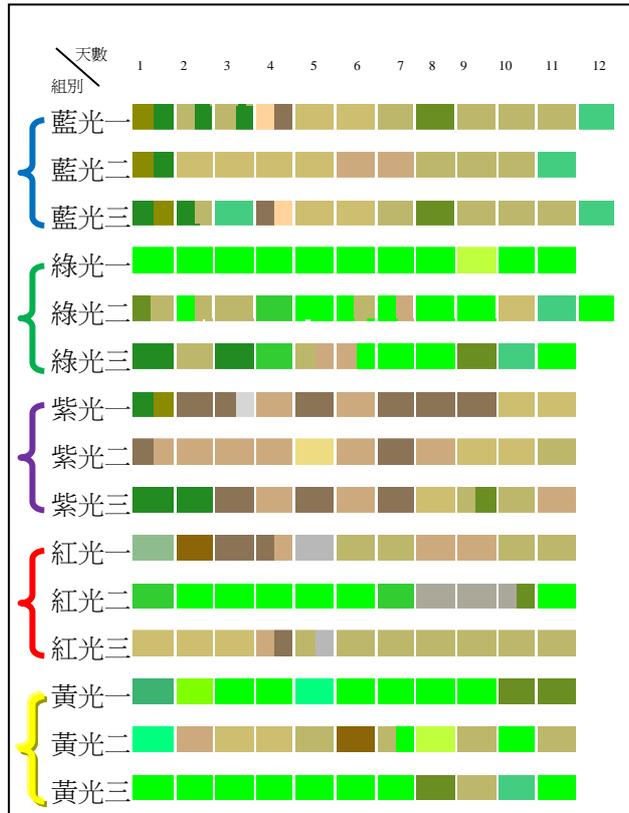


圖 5-3 紋白蝶背部蛹色變化與光線顏色的關係圖

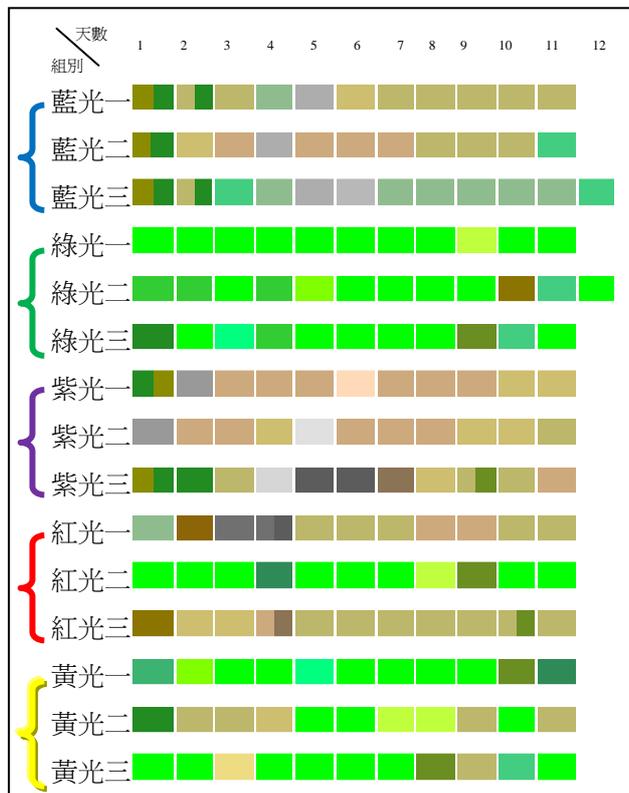


圖 5-4 紋白蝶尾部蛹色變化與光線顏色的關係圖

五、從實驗四紋白蝶蛹色變化與光線明暗度的關係圖(圖 5-5、圖 5-6)我們發現以下現象：

- (一) 紋白蝶蛹色在明亮處顏色最淡，呈淡褐色，一致性高。
- (二) 在陰暗處則淡褐中帶有點綠，顏色稍深。
- (三) 在黑暗處則顏色較深，且顏色變化比較不一致。

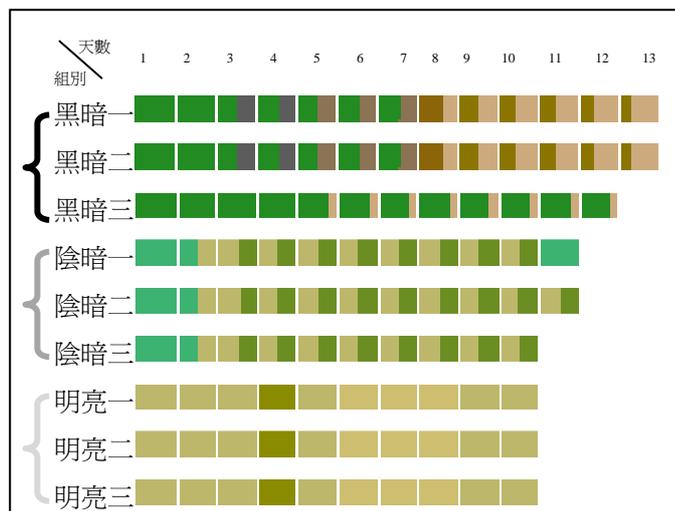


圖 5-5 紋白蝶背部蛹色變化與光線明暗度的關係圖

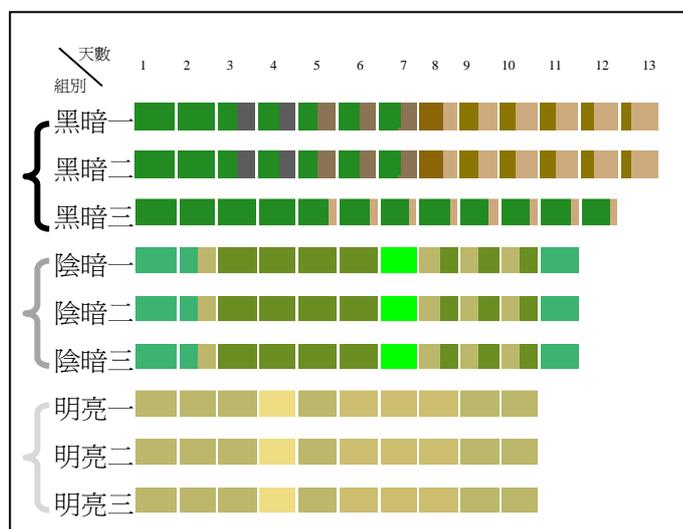


圖 5-6 紋白蝶尾部蛹色變化與光線明暗度的關係圖

六、從實驗四「紋白蝶蛹色變化與光線明暗度的關係」之明亮組在第四天顏色背部顏色變暗，尾部顏色變亮，經與表十亮度記錄表比對後發現第四天的亮度只有 1152 Lux，遠低於該組平均值 3230.8 Lux，可見透明箱內的菜蟲，在明亮位置結的蛹對亮度的反應比較敏銳。

七、所有的蛹殼顏色都是透明褐色系(圖 5-7、圖 5-8)：

- (一) 綠色系的蛹，如：黃色、橘色、黃光、綠光環境，蛹殼顏色較淺，呈淡土黃色(圖 5-9、圖 5-10)；
- (二) 褐色系的蛹，如：白色、藍色、陰暗、明亮環境，蛹殼顏色略深，呈淡褐色(圖 5-11、圖 5-12)；
- (三) 深灰色系的蛹，如：紅色、黑色、花盆周圍凹槽環境，蛹殼顏色較深，呈暗灰色(圖 5-13、圖 5-14)



圖 5-7 所有的蛹殼顏色都是透明褐色系



圖 5-8 所有的蛹殼顏色都是透明褐色系



圖 5-9 淡土黃色的橘色環境蛹殼



圖 5-10 淡土黃色的黃光環境蛹殼



圖 5-11 淡褐色的白色環境蛹殼



圖 5-12 淡褐色的藍光環境蛹殼



圖 5-13 暗灰色的黑色環境蛹殼



圖 5-14 暗灰色的花盆凹槽環境蛹殼

八、大部分蛹色與環境顏色有關，只有紅色環境的蟲蛹身上看不到紅色，是否蟲蛹不認識紅色？老師建議我們把照片轉成黑白做比對，於是我們用影像處理軟體(GIMP)將照片調成灰階，發現紅色環境轉成灰階後，顏色呈深灰色(圖 5-15、5-16)。而且紅色環境和黑色環境的蛹色相近(圖 5-1、圖 5-2)，我們懷疑蟲蛹對紅色的辨識可能有問題。



圖 5-15 紅色環境的蛹色

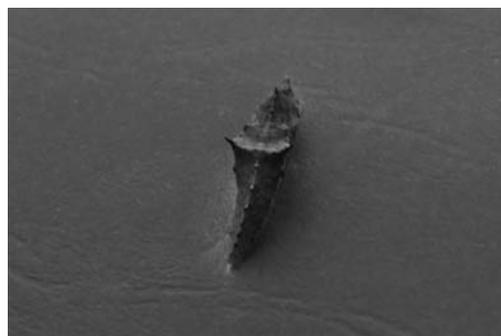


圖 5-16 紅色環境轉成灰階

九、觀察一中我們發現淺或亮環境的蛹色是灰白或淺綠色的，蛹殼是淺土黃色；深色或陰暗環境的蛹色是深綠、深褐、深灰色的，蛹殼是淡褐色或暗灰色的。

陸、結論

- 一、從實驗一中我們發現蛹的顏色會受環境顏色的影響，出現的顏色有灰色、綠色、褐色。但藍色透明箱中的蛹色未出現藍色(圖 4-13)、紅色塑膠箱的蛹色未出現紅色(圖 4-16)，所以蛹色不會有「近朱者赤、近墨者黑」這麼劇烈的變化。
- 二、實驗二中紅組、橘組、黃組、綠組、黑組、白組的蛹色隨環境顏色出現一致性的變化，藍組的蟲蛹出現三組色系，土黃組的蟲蛹出現兩組色系。可見蟲蛹雖會隨環境顏色調整蛹色，但這種調整也可能發生不一致的狀況(圖 5-1、5-2)。
- 三、實驗二中八組紙張顏色和蛹色由淺亮到深黑的順序一致，依序是：白→黃→橘→綠→土黃及藍→紅→黑。可見蟲蛹身體接觸的環境顏色深淺會影響蛹色的變化。
- 四、實驗三光罩內光線顏色的明暗度由最亮到最暗的順序是：黃光罩→綠光罩→紅光罩→藍光罩→紫光罩(表六)。蛹色由淺亮到深黑的順序是：黃光組→綠光組→紅光組→藍光組→紫光組(圖 5-3、5-4)。可見蟲蛹背後接受光線顏色的明暗度會影響蛹色的深淺。
- 五、實驗四光線明暗度由最亮到最暗的順序是：明亮組→陰暗組→黑暗組(表

十)。蛹色由淺亮到深黑的順序是：明亮組→陰暗組→黑暗組。可見蟲蛹背後接受光線的明暗度會影響蛹色的深淺(圖 5-5、5-6)。

六、從實驗四明暗度實驗之明亮組在第四天蛹色發生一致性變化(圖 5-5、5-6)，經比對發現第四天的亮度值只有平常的 1/3(表十)，可見透明箱內的菜蟲，在亮處的蛹對亮度的反應有比較敏銳的反應。

七、實驗二、三、四的結果，對照觀察一「在其他環境結蛹的蛹色觀察」，兩者的蛹色變化是一致的，蛹色由綠、灰、褐三色組成，但會隨著背後光線明暗和身體接觸環境顏色來調整色彩的深淺和色系，達到保護自己的目的。

柒、參考文獻

一、書籍

李俊延、王效岳。台灣蝴蝶圖鑑。台北市：貓頭鷹出版社。2002 年。

崔大成。漫畫法布爾昆蟲記。台北：漢湘文化。2008 年。

楊平世審訂。昆蟲小百科-美麗的昆蟲 蝴蝶、蛾類、蠶蛾。高雄：龍泰出版社。

魯京明譯。法布爾昆蟲記全集 10-素食昆蟲。台北市：遠流出版社。2002 年。

二、網站

小毛毛的自然天地，<http://163.21.34.20/small/look/s-b/2.htm>。

大河戀部落格-我變!我變!變!變!變!柑橘類鳳蝶結蛹顏色變化探討，
<http://tw.myblog.yahoo.com/river-tw/article?mid=327&prev=474&next=271&l=f&fid=15>。

白粉蝶的一生，<http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1609020902822>。

台灣紋白蝶，<http://www.nkps.tp.edu.tw/00075/nature/class/butterfly-w.htm>。

紋白蝶的生活史，<http://dns.shses.chc.edu.tw/~hst01/main/A3-4.htm>。

蟲蟲危機紋白蝶-追追追，<http://www.jg1es.tnc.edu.tw/html2/>。

【評語】 080301

觀察得十分詳細，也很認真思考研究的方法。結果呈現上要多用圖像來增加說服力。