

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 生物科

080318

百變蛹士

—探討日本紋白蝶蝶蛹顏色與環境的關係

學校名稱：臺中市太平區東平國民小學

作者： 小六 陳冠如 小六 劉佳綺 小六 黃上容 小六 魏郡慧 小六 何貫綸 小六 陳彥安	指導老師： 李金生 洪榮陽
---	-------------------------

關鍵詞：照度、蛹色、保護色

摘要

室溫在 17°C-23°C 時，日本紋白蝶 *Pieris rapae* 完成一個世代的時間，約在 28-44 天。化蛹台的試驗中發現，夾角 60-90 度間是最適合紋白蝶化蛹的角度。紋白蝶化蛹後三天內，蛹色仍然會隨著環境變化而改變。飼養紋白蝶的容器粗糙則蛹色較深，在不同背景顏色及不同色光影響蛹色的試驗中，蛹色由深到淺依序為藍、紅、黃。經由以上三個試驗的結果，我們推論影響蛹色最重要因子，是光的照度。因此進行一、五層黃色玻璃紙的試驗，發現一層的蛹色呈現綠色帶黃，而五層的蛹色則呈現咖啡色。在不同光照角度的實驗中，發現越接近照度大的位置，紋白蝶化蛹時的蛹色會較淺，而靠近壓克力底部，蛹色則較深，證實影響紋白蝶蛹的顏色，最主要的因子是光的照度。

壹、研究動機

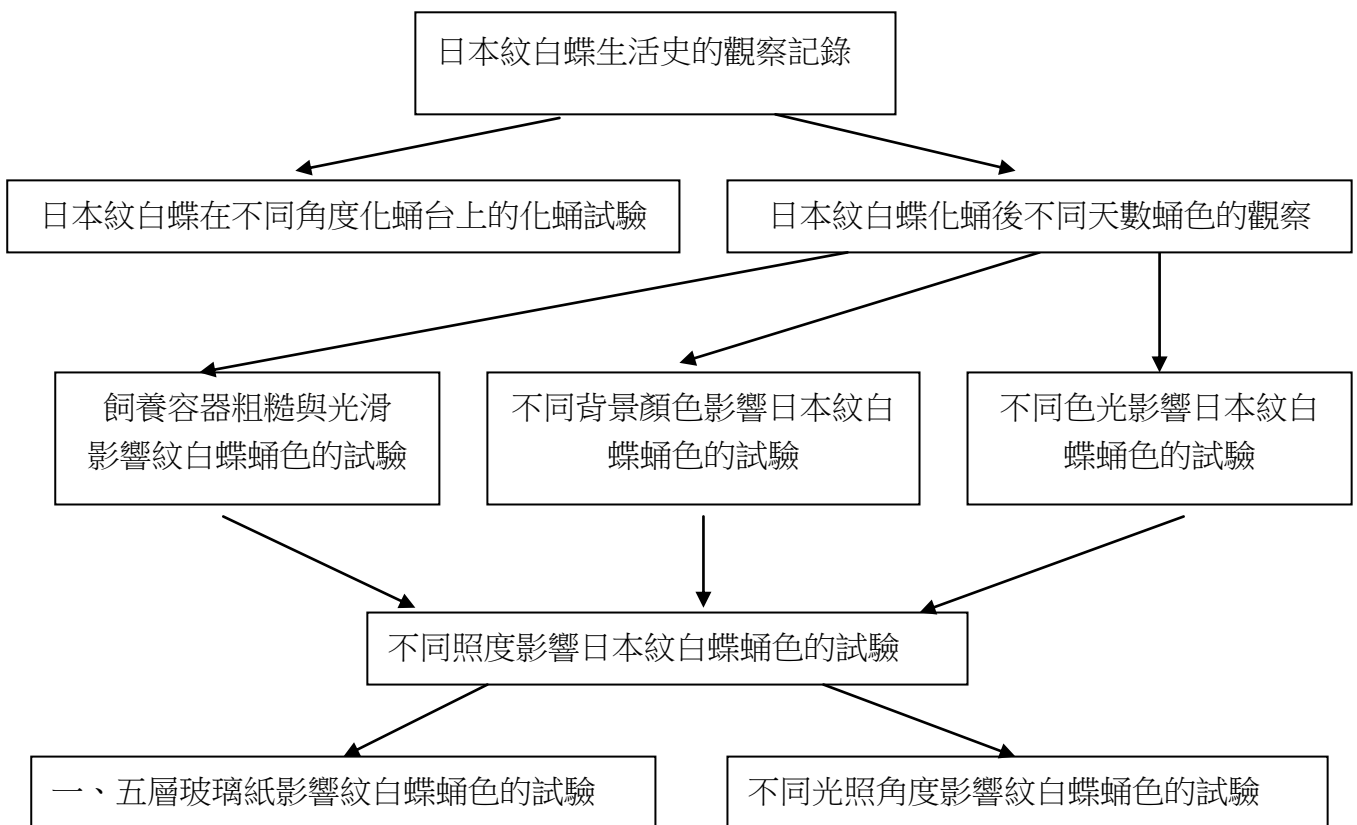
放假時，在奶奶的菜園中玩耍，發現有許多顏色不同的蝶蛹。這些蝶蛹除了顏色不同以外，化蛹的角度也不太相同。上自然課時，老師常常提供可以採集到的昆蟲，放在教室內與同學分享，不但讓我增加了許多的自然知識，也令我對昆蟲深深著迷。於是我就將這些蛹連著莖、葉帶回家去觀察。

經過了十幾天後，我觀察到這些不同顏色的蝶蛹，羽化後竟然是同一種蝴蝶，這個有趣的發現，讓我非常不解。因此想要了解影響蝴蝶蛹色的因素有哪些？蝴蝶化蛹時，對於位置及角度，是否具有選擇性呢？而環境中的甚麼因素，對蛹色影響最大呢？於是我找了一些同學，請老師幫忙指導，並進行研究。

貳、研究目的

- 一、日本紋白蝶生活史的觀察記錄
- 二、日本紋白蝶在不同角度化蛹台上的化蛹試驗
- 三、日本紋白蝶化蛹後不同天數內蛹色的觀察
- 四、飼養容器粗糙與光滑影響日本紋白蝶蛹色的試驗
- 五、不同色光影響日本紋白蝶蛹色的試驗
- 六、不同背景顏色影響日本紋白蝶蛹色的試驗
- 七、不同照度影響日本紋白蝶蛹色的試驗
 - (一)、一至五層黃色玻璃紙影響日本紋白蝶蛹色的試驗
 - (二)、不同光照角度影響日本紋白蝶蛹色的試驗

研究架構圖：



參、文獻探討

台灣位於熱帶及亞熱帶，是一個地形多變的大島，有高達 3000 公尺以上的高山，也有丘陵、台地、沙洲、海岸林…等。因此生物相相當複雜，台灣除了擁有 400 多種以上的蝴蝶外，單位面積蝶種及蝶口數都排名在世界上前三名，堪稱是蝴蝶王國。

蝴蝶是一種完全變態的昆蟲，一生可以分為卵、幼蟲、蛹、成蟲四個階段，雌蝶在交配後，會尋找幼蟲所食用的特定植物，將卵產在寄主植物特定的部位或周圍，使幼蟲孵化後便於取食。卵的形狀變異很大，因種類不同而有所差異。孵化時一齡幼蟲會將卵殼吃掉，當幼蟲在漸漸長大的過程中，需要把舊的表皮脫掉，長出更大的新皮，這個過程稱為脫皮。脫去幾次皮之後，老熟幼蟲會找一個地方，進行一生中最大的蛻變---化蛹。蛹期外表看起來平靜，事實上身體內部正在做一項巨大的改變，幼蟲期的細胞正在逐漸崩解，而隱藏許久的成蟲細胞快速分裂增殖，吸收幼蟲細胞崩解所釋放出來的養分，最後形成一隻蝴蝶。

蝴蝶的蛹可以分為兩種形式：1、帶蛹-頭部朝上，尾部以絲座固定於物體上，胸腹交接處另有一條絲，環繞固定於另一個絲座上。2、吊蛹-尾部朝上，只有尾部以絲座固定於物體上，頭端向下懸垂於空中。剛羽化的蝴蝶臃腫肥胖，身上有四個皺摺短小的翅膀，行動遲緩。此時牠用盡全身的力量，將身體內的液體擠入翅膀中，將翅膀慢慢撐開，然後將蛹期中儲存的廢物由肛門排出，等到翅膀乾了，就可以開始飛翔。

紋白蝶是屬於粉蝶科，是世界上最著名的粉蝶，也是全世界十字花科蔬菜上的重要害蟲。在台灣類似的種類，主要是台灣紋白蝶與日本紋白蝶兩種，前者主要分布於山區，而後者則是平地十字花科蔬菜上最常見的害蟲。

根據達爾文的演化論，一種生物能否代代相傳與適應環境變化的能力有關，因遺傳上的變異能夠適應環境的個體，才能度過危機並將此基因傳給下一代，反之就會逐漸被淘汰。因此「物競天擇，適者生存」說得一點也不為過。

為了求生存，動物是否能夠躲避敵害及取得食物是主要關鍵，有些動物利用體色與環境的相似，躲過獵食者的捕捉，像這種體色和環境相似，我們稱它為「保護色」；有些動物不但體色和環境相似，就是連形態也相像，這種偽裝的現象稱為「擬態」。保護色和擬態都是動物為了適應環境，在自然界長期選擇淘汰的結果，能具有這種能力的動物，才能有較大的生存機會；牠們的後代也承襲了這種遺傳特質，使得保護色與擬態的表現更趨完美。

有些書籍及研究指出，柑橘無尾鳳蝶及紋白蝶的蛹色，會因環境而有所變化。對於這些蛹色形成的原因，大多指出是環境中顏色的影響。而蛹這一階段對於蝴蝶而言，是最危險且沒有能力保護自己的時期，為了整個族群的延續，發展出各種策略以保護蛹，並確保蛹能順利羽化，是這種生物能否在現行環境下具有競爭優勢，最重要的一個因素。

肆、研究器材與設備

日本紋白蝶的蟲卵、新鮮的高麗菜、高麗菜幼苗、野外採集而回的紋白蝶幼蟲、有蓋的塑膠盒子（直徑 8 公分，高 4.5 公分）、數位游標尺、數位相機、鑷子、溫度計、電子秤、海綿、吸管、熱熔膠、熱熔槍、水盤、投影片、10*10*10 公分的無蓋壓克力透明盒子、紅、黃、藍、透明玻璃紙及雲彩紙、放大鏡、白色厚紙板、透明膠帶及 3M 膠帶、剪刀、白膠、美國 Pantone 色卡、照度計 Yu - Fong YF-17。

伍、研究方法及結果

一、日本紋白蝶生活史的觀察記錄

將剛產下的紋白蝶蟲卵，分別放在直徑 8 公分，高度 4.5 公分的圓形塑膠盒中，蓋上蓋子，在蓋子上戳幾個洞保持通風，總共試驗 25 隻。每天換菜及觀察記錄，直到羽化為止。

表一：日本紋白蝶的生活史及外部形態觀察記錄：（室溫在 17°C-23°C）

階段	天數	長度	重量	頭殼長度	外形描述
卵期	2~3 天	1~1.5 mm	測量不到		淡黃色，像半截的玉米，形狀像子彈，卵上佈滿直條紋
1 齡	3~5 天	2~5 mm	測量不到	無法測量	呈黃綠色，身體顏色較為透明，頭殼顏色較深
2 齡	3~5 天	4~10 mm	測量不到	0.8~1.3 mm	逐漸變成草綠色，身體中間有一條金線
3 齡	3~5 天	11~15 mm	0.05g	1.4-1.5 mm	身體旁有兩條金線
4 齡	3~6 天	16~22 mm	0.1g	1.75~2 mm	體上佈滿白色細毛，爬行速度漸快
5 齡	3~6 天	23~30 mm	0.2~0.3g	2.5 mm	身體增長許多，食量很大，頭部明顯的呈現深綠色
前蛹期	2~3 天	18~22mm	0.2-0.3g		身長縮短，身體變胖
蛹期	9~11 天	17~21 mm	0.15-0.25g		蛹色多為綠色、黃色或咖啡色，中間有四個黑色突點，尾部金線上也有 5~6 個黑點
成蟲		50~60 mm	0.1~0.2g		雌蝶：前翅有 2 個明顯黑點。 雄蝶：前翅有 1 個明顯黑點，另一個黑點則較不明顯

室溫在 17°C-23°C 時，日本紋白蝶完成一個世代所需的時間，約在 28-44 天。飼養中觀察到卵孵化後，幼蟲會將卵殼吃光。剛孵化的幼蟲身體是黃綠色的，吃了高麗菜葉後，身體逐

漸轉變成綠色，五齡末期的幼蟲會爬到隱蔽的地方進行化蛹，十幾天後就會羽化變成蝴蝶。
 根據試驗的結果，日本紋白蝶蝶蛹的顏色，主要由綠色、黃色、咖啡三種顏色所組成。

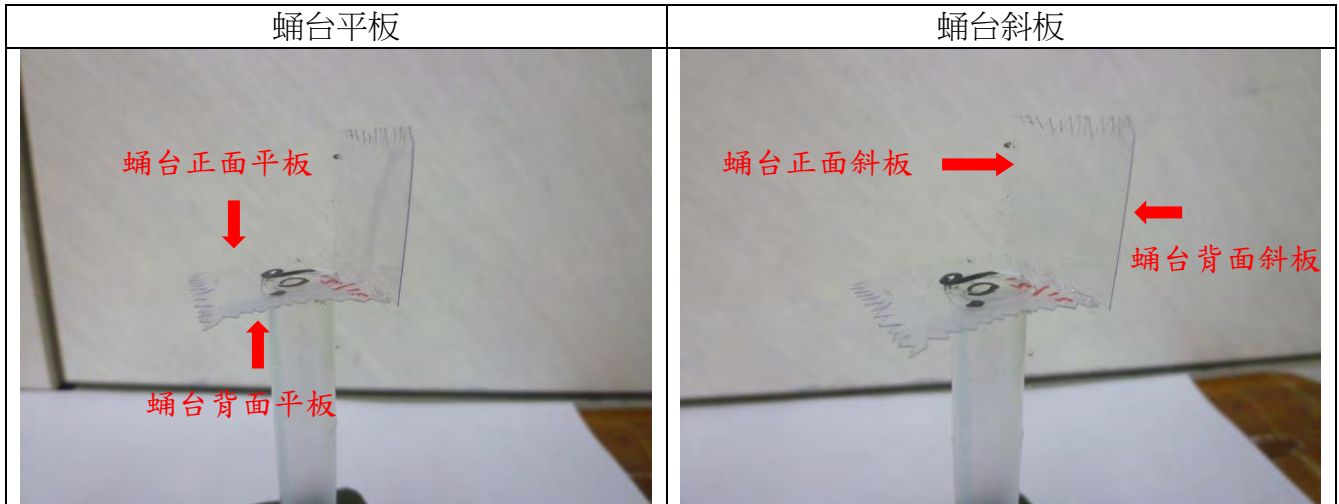
圖一：紋白蝶生活史的觀察

		
產在高麗菜葉上紋白蝶的卵	一齡的紋白蝶幼蟲	二齡的紋白蝶幼蟲
		
三齡的紋白蝶幼蟲	四齡的紋白蝶幼蟲	五齡的紋白蝶幼蟲
		
前蛹期	蛹期	成蟲
		
紋白蝶破蛹而出	紋白蝶掙脫蛹殼	紋白蝶脫離蛹殼
		
紋白蝶皺褶的翅膀	皺褶的翅膀已漸漸平順	靜待翅膀晾乾

二、日本紋白蝶在不同角度化蛹台上的化蛹試驗

製作 30、60、90、120、150、180 度等不同度數的化蛹台，再將五齡末期、到處爬行的紋白蝶幼蟲，置於化蛹台上。將化蛹台置於水盤內，每個實驗進行三個重複，觀察紋白蝶最後化蛹的位置並記錄。

圖二：化蛹台位置說明

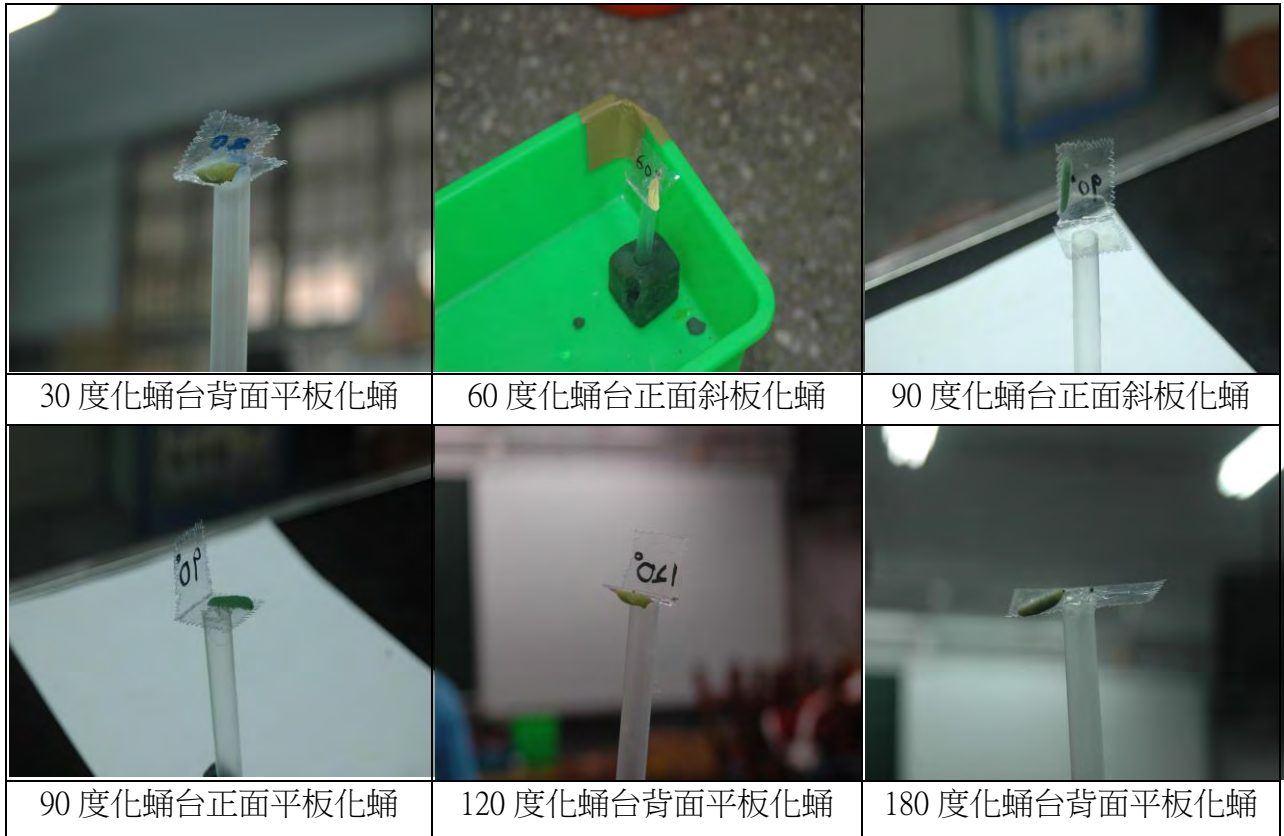


表二：紋白蝶在不同角度化蛹台化蛹之紀錄

化蛹台角度	重複	化蛹位置				逃脫
		蛹台正面平板	蛹台正面斜板	蛹台背面斜板	蛹台背面平板	
30 度	1			○		
	2	○				
	3					○
60 度	1		○			
	2		○			
	3	○				
90 度	1		○			
	2				○	
	3		○			
120 度	1			○		
	2				○	
	3					○
150 度	1				○	
	2			○		
	3					○
180 度	1				○	
	2					○
	3					○

試驗中發現在 60-90 度之間的化蛹台，紋白蝶會在正面斜板上化蛹，低於 60 度、高於 120 度以上時，紋白蝶幼蟲則大多數逃脫，在化蛹台背面平板或吸管上化蛹。

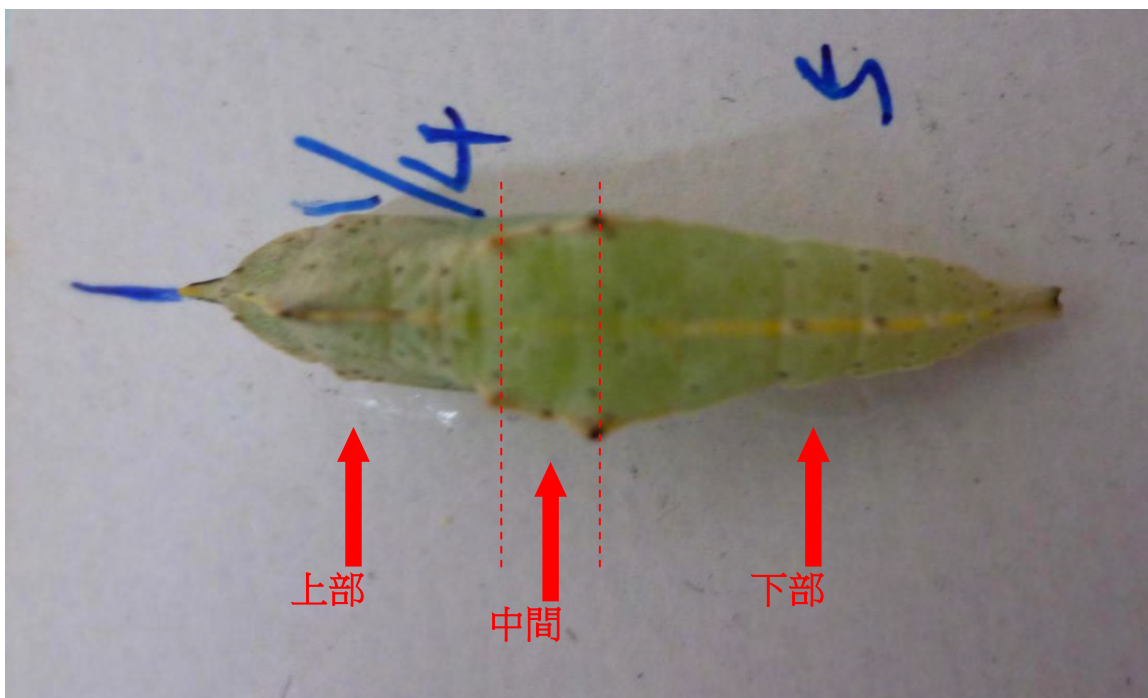
圖三： 紋白蝶在不同角度化蛹台化蛹之情形



三、日本紋白蝶化蛹後不同天數內蛹色的觀察

將五齡末期的紋白蝶幼蟲 3-5 隻，放在長、寬、高各 10 公分高的壓克力盒內。每天換菜直到化蛹為止。從化蛹第一天開始觀察，將蛹分為上、中、下三個部份，並以美國 Pantone 色卡進行蛹色分析比對，同一個試驗由同一個學生負責觀察記錄（避免人為誤差）。

圖四： 蛹色觀察說明：將蛹分為上、中、下三個部份觀察



表三：日本紋白蝶化蛹後不同天數內蛹色之觀察

化蛹後的天數	重複數	上部代碼	中間代碼	下部代碼	蛹色之描述
第一天	1	5767	578	5797	呈粉綠色，上部呈墨綠色，有兩個斑點較不明顯
	2	5757	578	580	上部呈淡綠色，五個斑點顏色呈黃黑色
	3	585	585	586	呈淡綠色，中間顏色較兩旁顏色墨綠
第二天	1	5783	578	579	呈粉綠色，上部呈墨綠色，上半部微微泛白
	2	5845	5777	338	呈較深的粉綠色，上部呈墨綠色，斑點顏色較黑
	3	577	586	5807	呈粉綠色，上部呈墨綠色
第三天	1	5783	3375	365	呈粉綠色，上部呈墨綠色，上部斑點不明顯，尾部斑點漸漸明顯
	2	391	383	376	呈較深的粉綠色，上部呈墨綠色，斑點更明顯，上半部顏色較深，下半部顏色較淺，兩部分顏色差異越來越大
	3	5635	505	442	中間部分呈深綠色，上部呈墨綠色

剛化蛹時蛹色較淡，但隨著時間的增加，蛹色越來越深。直到化蛹後第三天，蛹色才不會有太大的改變。因此以下的實驗，都以化蛹後第四天，做為蛹色觀察的基準。

四、飼養容器粗糙與光滑影響日本紋白蝶蛹色的試驗

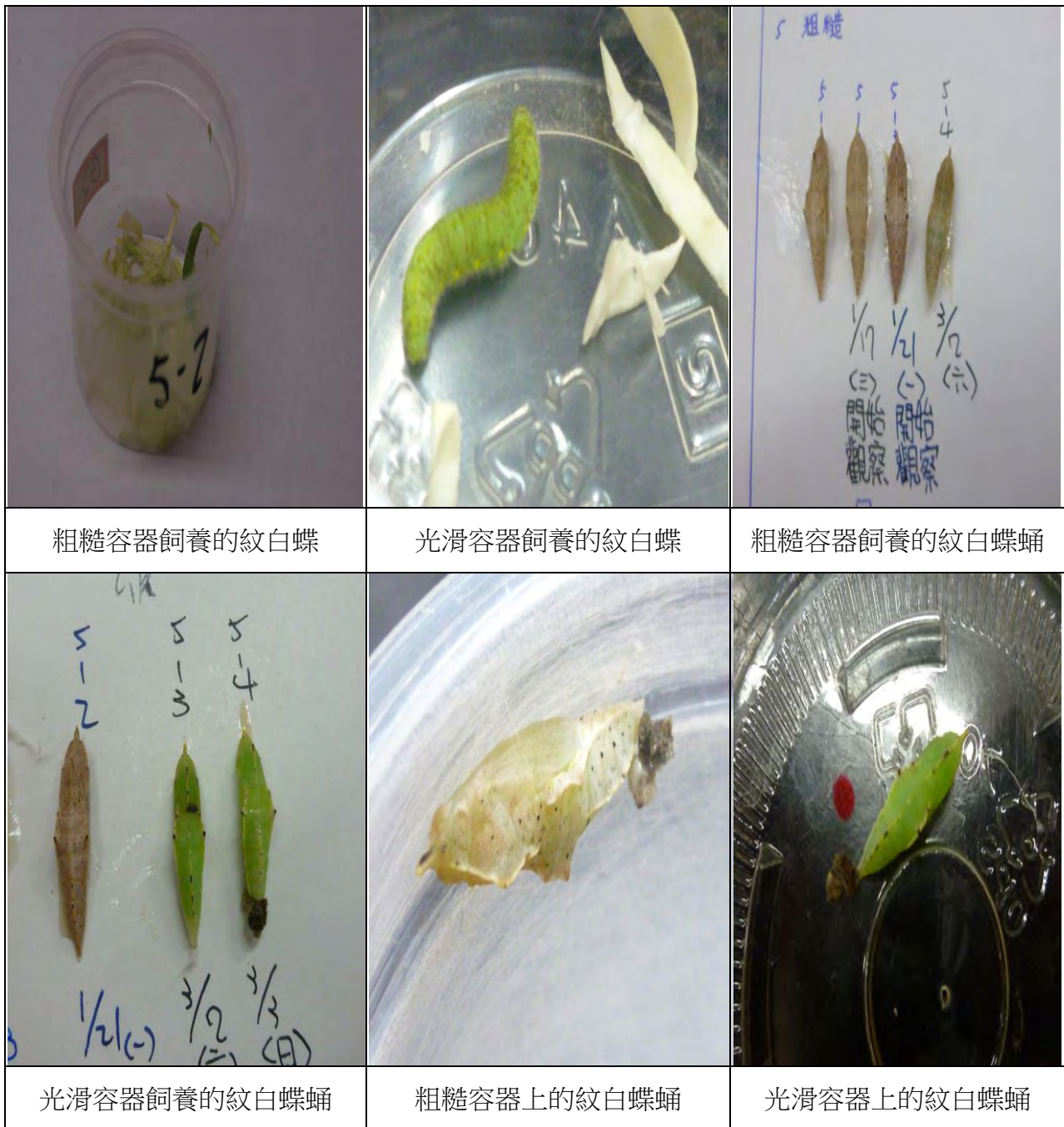
將五齡紋白蝶幼蟲 3-5 隻，放在直徑長 8 公分，高 4.5 公分的塑膠盒中飼養，盒子內部先以粗砂紙磨 2 分鐘，使盒子內部變粗糙。另外，以光滑的盒子作為對照組。每天換菜及觀察記錄，將高麗菜切成細條狀餵食，避免幼蟲在高麗菜上爬行，而無法接觸到粗糙的面，直到化蛹為止。

表四：飼養容器粗糙與光滑影響日本紋白蝶蛹色的試驗

處理	重複數	上部代碼	中間代碼	下部代碼	蛹色之描述
飼養容器粗糙	1	4525	579	466	呈土黃色，有許多的小黑點，中間部分有條明顯的金線
	2	4655	4665	4655	呈土黃色，有許多的小黑點，中間部分有些凸起
	3	408	414	415	呈咖啡色，下半部有三個黑點，中間部分有些凸起
	4	5783	5793	5793	呈土黃色，有許多的小黑點，中間部分有條明顯的金線
飼養容器光滑	1	7488	7488	7487	呈淡綠色，中間的金線較明顯
	2	402	415	415	淺咖啡色，下部有三個黑點，中間的金線較不明顯
	3	375	7481	7481	呈翠綠色，下部有四個黑點
	4	7481	374	374	呈粉綠色，中間金線上的黑點較不明顯

粗糙容器中飼養的紋白蝶，蛹色是土黃色，而在光滑容器飼養的紋白蝶蛹，則是翠綠色，證明容器粗糙與否，的確會影響紋白蝶蛹色。

圖五：飼養容器粗糙與光滑影響日本紋白蝶蛹色的試驗



五、不同色光影響日本紋白蝶蛹色的試驗

將五齡末期的紋白蝶幼蟲 3-5 隻，放在長、寬、高各 10 公分的透明壓克力盒內，四周圍以藍色、紅色、黃色之玻璃紙包覆。再以透明玻璃紙當成對照組。每天換菜及觀察記錄，直到化蛹為止。

表五：不同顏色玻璃紙影響日本紋白蝶蛹色的試驗

玻璃紙顏色	重複數	上部代碼	中間代碼	下部代碼	蛹色之描述
藍色	1	451	452	451	呈深咖啡色，身上有七個黑點
	2	443	617	7478	呈深咖啡色，中間處四個突起點微微泛紅
	3	4655	4655	4655	呈深咖啡色，身上有六個黑點
	4	444	443	452	呈深咖啡，下部呈淡綠色，中間處四個突起點微微泛紅
紅色	1	7465	7487	5783	呈淺咖啡色，下部呈黑綠色
	2	7514	7514	7515	呈淺咖啡色，下部呈粉墨綠色，中間有不明黑點
	3	412	7535	430	呈淺咖啡色，上部顏色較暗，下部顏色較亮
黃色	1	451	452	452	上部呈黃中帶綠，中下部微微近似淺咖啡色
	2	7536	5665	7536	上部呈黃中帶綠，中間呈咖啡色
	3	5635	413	559	上部呈黃中帶綠，中、下部分的顏色比上部深，上部的斑點較不明顯
	4	5665	413	413	中、下部分的顏色都是黃中帶綠，上部的斑點較明顯
透明	1	557	558	559	呈翠綠色，全身微微泛黃
	2	5493	556	563	呈翠綠色
	3	5635	413	5655	上下顏色都是翠綠色，中部顏色較淺，上、中部的斑點周圍微微泛黃

試驗中發現，在藍色玻璃紙中紋白蝶蛹的蛹色最深，呈深咖啡色，紅色次之，黃色玻璃紙蛹色是黃中帶綠，而對照組三個蛹都呈翠綠色。

圖六：紋白蝶在不同顏色玻璃紙內化蛹的結果



六、不同背景顏色影響日本紋白蝶蛹色的試驗

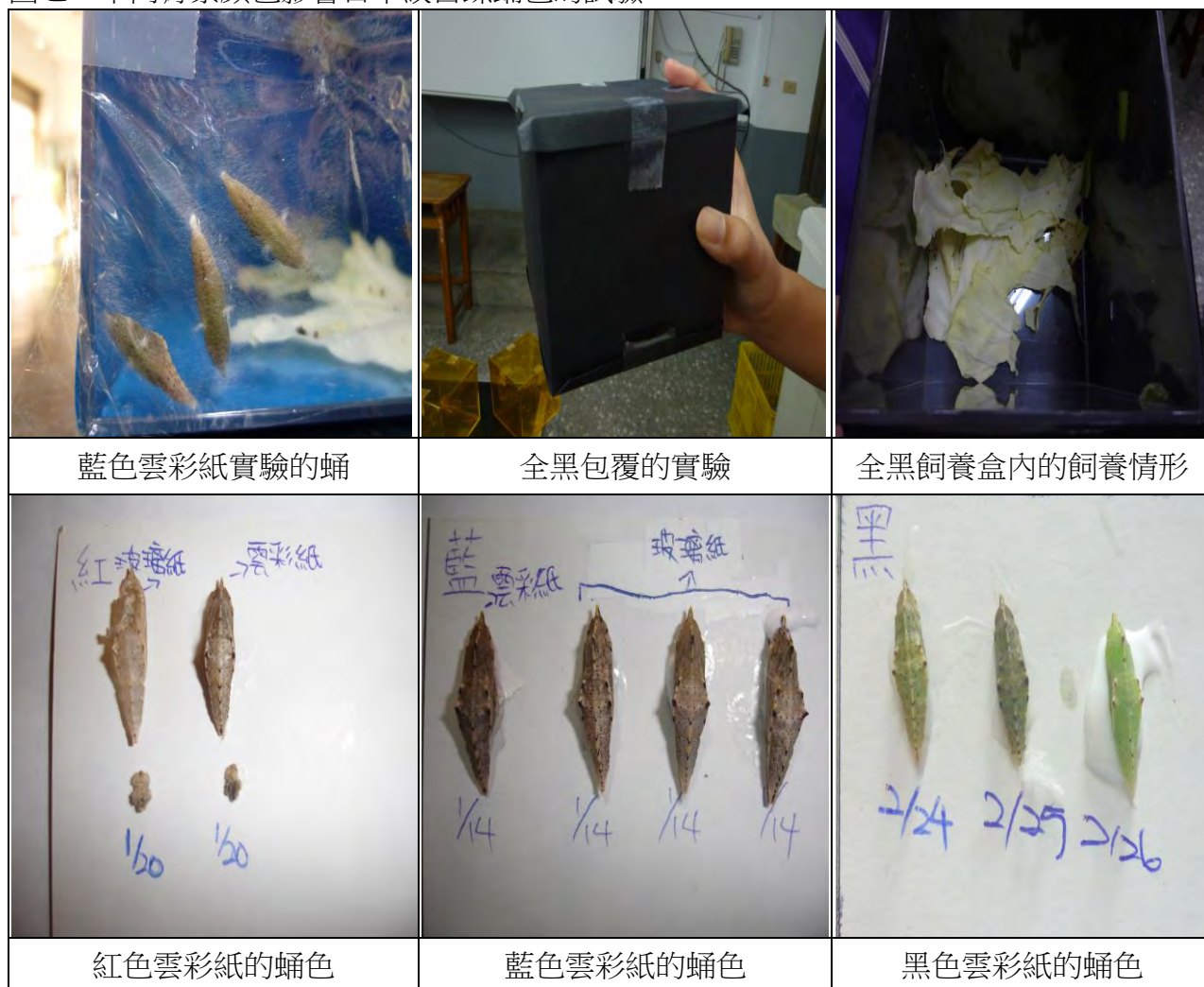
將五齡末期的紋白蝶幼蟲 3-5 隻，放在長、寬、高各 10 公分的壓克力盒內，外圍以藍、紅色雲彩紙包覆，蓋子則以透明玻璃紙覆蓋。另外再以全黑雲彩紙包覆的壓克力盒進行另一個試驗。每天換菜及觀察記錄，直到化蛹為止，觀察不同顏色之雲彩紙對紋白蝶蛹色之影響。

表六：不同背景顏色影響日本紋白蝶蛹色的試驗

雲彩紙顏色	重複數	上部代碼	中間代碼	下部代碼	蛹色之描述
藍色	1	7533	7538	7539	呈深咖啡色，顏色較深
	2	7532	7537	7538	呈淡咖啡色，顏色是四個實驗蛹中最淺的
	3	7539	7538	7538	呈深咖啡色，全身顏色大致相同
	4	7533	7537	7538	呈深咖啡色，上部顏色較深，下部顏色較淺
紅色	1	414	421	413	呈咖啡色，顏色相當平均且淡
	2	417	416	416	呈咖啡色，顏色相當平均且深
	3	416	417	424	呈咖啡色，上部顏色較淺，下部顏色較深
黑色	1	7625	7629	7630	呈墨綠色
	2	490	490	490	呈深墨綠色，全身顏色相當平均
	3	357	373	373	呈淺墨綠色，下部的顏色非常的翠綠

在紅色、藍色的背景顏色試驗中，蛹的顏色分別為咖啡色及深咖啡色。在全黑飼養盒中發現，紋白蝶會急於結蛹，因此蛹的體型明顯比其牠的蛹要小，且蛹色呈現深墨綠色。觀察不同色光與不同背景顏色試驗時發現，在紅色雲彩紙中的蛹色，比在紅色玻璃紙中的蛹色深，在藍色雲彩紙及玻璃紙中也有相同的結果，且試驗中觀察到蛹色都是咖啡色系，差別只在顏色深淺不同而已。

圖七：不同背景顏色影響日本紋白蝶蛹色的試驗



七、不同照度影響日本紋白蝶蛹色的試驗

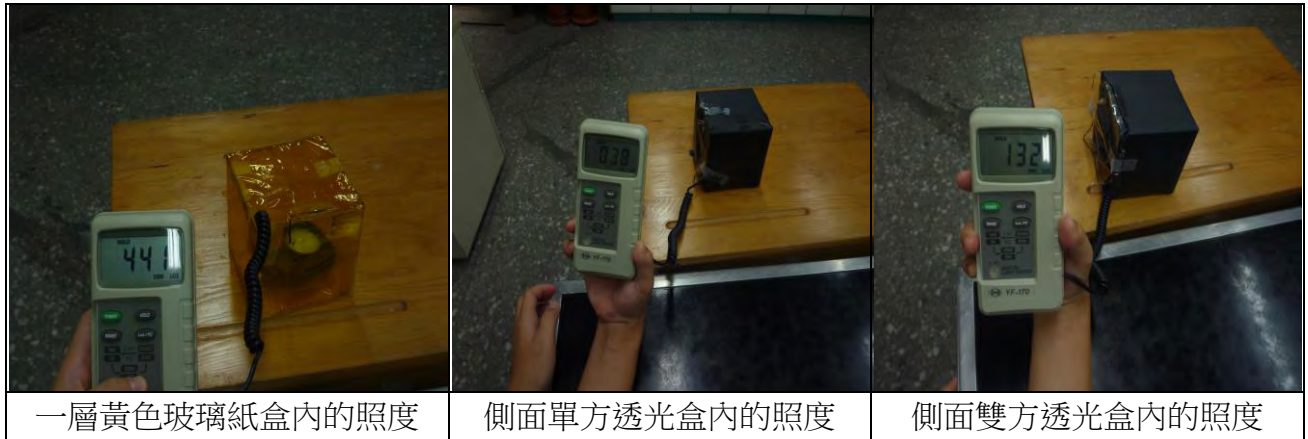
(一) 測量各個試驗盒的照度

以照度計測量各個試驗盒的照度，測量的位置、方向、測量人員距離測試物，距離盡量相等，避免產生人為誤差。

表七：測量各個試驗盒的照度：(單位：lux 勒克斯)

處理	一層黃色玻璃紙	五層玻璃紙	正面上方透光	側面單面透光	側面雙面透光
照度	441	254	382	38	132

圖八：測量各個試驗盒的照度



就試驗盒內的照度而言，照度大小依序為：一層黃色玻璃紙 > 正面上方透光 > 五層黃色玻璃紙 > 側面雙面透光 > 側面單面透光。

(二)、一、五層黃色玻璃紙影響日本紋白蝶蛹色的試驗

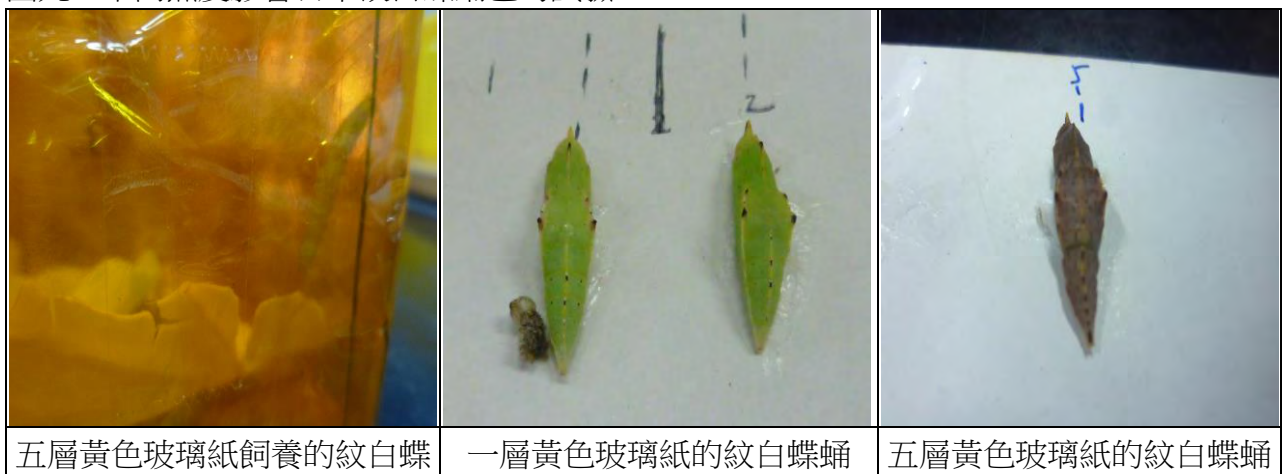
將 5 齡末期的紋白蝶幼蟲 3-5 隻，放在長、寬、高各十公分的壓克力盒內，外圍以一、五層黃色玻璃紙包覆，每天換菜及觀察記錄，直到化蛹為止。

表八：一、五層黃色玻璃紙影響紋白蝶蛹色的試驗

處理	重複數	上部代碼	中間代碼	下部代碼	蛹色之描述
一層	1	452	5787	578	呈翠綠色，顏色相當平均，上部微微泛黃
	2	579	337	325	呈翠綠色，上、下部顏色較深，中部顏色較淺
	3	577	578	578	呈翠綠色，上部顏色較深，下部顏色較淺
五層	1	463	7504	7504	呈咖啡色，上部顏色較深，下部顏色較淺
	2	462	7504	7519	呈咖啡色，中間部分顏色較淺
	3	4625	7505	7518	呈咖啡色，中間部分顏色較淺

試驗中發現，一層黃色玻璃紙的蛹色是綠色中帶點黃，而五層玻璃紙的蛹色則呈現深咖啡色，證實影響蛹色最重要的因子，是光的照度而非顏色。

圖九：不同照度影響日本紋白蝶蛹色的試驗



(三)、不同光照角度影響日本紋白蝶蛹色的試驗

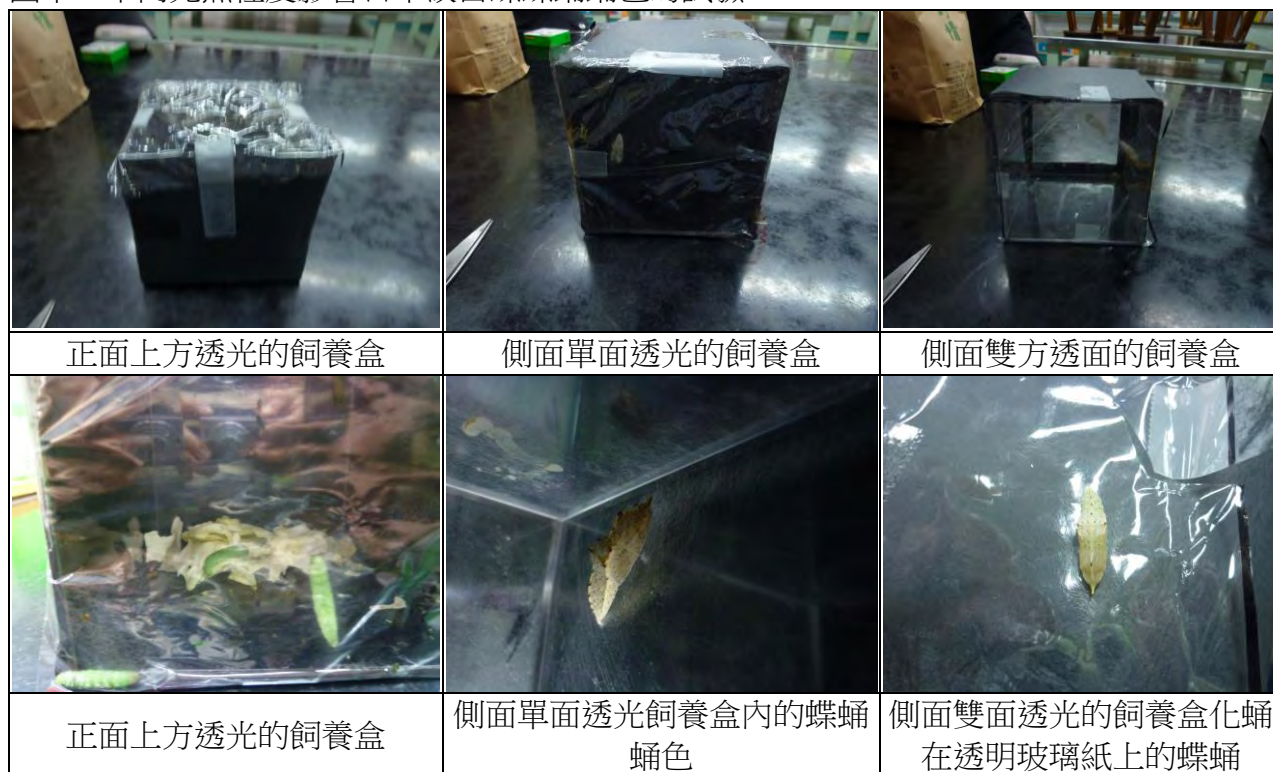
將 5 齡末期的紋白蝶幼蟲 3-5 隻，放在長、寬、高各十公分的壓克力盒內，外圍以黑色雲彩紙包覆，透光部分則以透明玻璃紙包覆，將塑膠盒分為正面上方透光，側面單面透光、側面雙面透光，每天換菜及觀察記錄，直到化蛹為止。

表九：不同光照角度對日本紋白蝶蛹色的試驗

處理	重複數	上部代碼	中間代碼	下部代碼	化蛹位置	蛹色之描述
正面上方透光	1	7492	7492	346	透明玻璃紙上	呈粉綠色
	2	7474	7475	7472	透明玻璃紙上	呈翠綠色，上、中部顏色較深於下部
	3	3305	333	333	壓克力底部	深綠色，上部較深，下部較淺
側面單面透光	1	481	482	482	透明玻璃紙上	呈黃綠色帶點灰，斑點明顯
	2	417	417	416	壓克力側面	咖啡色，上部顏色較深
	3	417	416	416	壓克力側面	深咖啡色帶點灰，中部顏色較淡
側面雙面光照	1	332	332	5783	透明玻璃紙上	呈較淺的深綠色，上中下沒有太大的差異
	2	333	331	8131	壓克力側面	呈深綠色，中部顏色較淡
	3	332	333	333	壓克力側面	呈深綠色，斑點不明顯

無論是在正面上方透光，側面單面透光、側面雙面透光的試驗中都發現，照度大的位置，紋白蝶化蛹時的蛹色會較淺，而照度較小的壓克力底部，蛹色則較深。由此更加證實影響紋白蝶蛹顏色，最主要的因子是光的照度。

圖十：不同光照程度影響日本紋白蝶蝶蛹蛹色的試驗



陸、結論

- 1、室溫在 17°C-23°C 時，日本紋白蝶完成一個世代所需的時間，約在 28-44 天之間。飼養中觀察到卵孵化後，一齡幼蟲會將卵殼吃掉。幼蟲頭殼的寬度，隨著幼蟲齡期增長而變大，分析紋白蝶的蛹色，主要由綠色、黃色、及咖啡色所組成。
- 2、試驗中發現在 60-90 度之間的化蛹台，紋白蝶大多會在正面斜板上化蛹，低於 60 度、高於 120 度以上時，幼蟲則大多數逃脫，或在化蛹台背面平板或吸管上化蛹。
- 3、剛化蛹時蛹色較淡，隨著時間的增加，蛹色越來越深。直到化蛹後第三天，蛹色才不會有太大的改變。
- 4、粗糙容器中飼養的紋白蝶，蛹色接近土黃色，而在光滑容器中飼養的紋白蝶，蛹色則大多為翠綠色，證明容器粗糙與否，會影響紋白蝶蛹色。
- 5、在藍色玻璃紙中化蛹的蛹色最深，呈深咖啡色，紅色次之。黃色呈現黃中帶綠。而對照組三隻都呈現翠綠色，證明不同色光對紋白蝶的蛹色確實有影響。
- 6、不同背景顏色的試驗中，以藍色背景蛹色最深，其次是紅色，二者之間的蛹色呈現咖啡色系，且隨著背景顏色的深淺，而有一致性的變化。
- 7、在全黑飼養盒中，蛹色呈現深墨綠色，且蛹的個體明顯比其他蝶蛹要來得小。
- 8、在各個飼養盒內的照度測試中，發現各個處理的飼養盒，照度大小依序為：一層黃色玻璃紙 > 正面上方透光 > 五層黃色玻璃紙 > 側面雙面透光 > 側面單面透光。
- 9、在黃色玻璃紙試驗中發現，一層黃色玻璃紙的蛹色是黃綠色，而五層玻璃紙的蛹色則是咖啡色，證實影響蛹色最重要的因子，是光的照度而非顏色。
- 10、無論是在正面上方透光，側面單面透光、側面雙面透光的試驗中發現，照度大的位置，紋白蝶化蛹時蛹色會較淺，而靠近壓克力底部，蛹色則較深。這個試驗更進一步證實影響紋白蝶蝶蛹的顏色，最主要的因子是光的照度。

柒、討論

- 1、日本紋白蝶 *Pieris rapae* 是十字花科蔬菜中最常見的害蟲，學者推測日本紋白蝶是從日本進口的十字花科蔬菜中，夾帶蟲卵而入侵的外來種。在田間採集而回的幼蟲或蛹，牠們的死亡率很高，高達六成以上，也常常被小繭蜂寄生。雖然日本紋白蝶有這麼多不利之處，但在和台灣紋白蝶的競爭中，日本紋白蝶不但獲勝，且成為平地最常見的蝴蝶，可知日本紋白蝶必定演化出一套，最能適應環境的策略，才能成為當中的優勝者。
- 2、化蛹台的試驗中發現夾角在 60-120 度之間，紋白蝶會在蛹台上化蛹，其它則不會。由於紋白蝶的蛹是屬於帶蛹，以頭部朝上，尾部以絲座固定於物體上，胸腹交接處另有一條絲，環繞固定於另一個絲座上，因此化蛹時必須具備足夠的空間，才能讓羽化後的蝴蝶，順利展開翅膀飛翔，因此終齡幼蟲會選擇，能夠成功羽化的位置化蛹。
- 3、日本紋白蝶在化蛹後三天內，蝶蛹仍可感受到外界環境的改變，而作出相對應的變化。但這時幼蟲細胞正在逐漸崩解，而成蟲器官正逐漸形成，是那個構造能這麼精密的控制蛹色的變化，還有影響蛹色最重要的時間點是何時呢？
- 4、有些報告指出，無尾鳳蝶在幼蟲階段時，因幼蟲接觸粗糙的表面，導致產生顏色較深的蛹。我們的實驗也驗證此一結果。但到底是因為飼養容器的粗糙與光滑，或是因粗糙表面透入的光較少而影響蛹色呢？
- 5、藍、紅雲彩紙和藍、紅玻璃紙的試驗中發現，同樣是紅色的雲彩紙和玻璃紙，雲彩紙的蝶蛹蛹色較深，而玻璃紙蛹色較淺。且藍、紅色雲彩紙和玻璃紙，化蛹的蛹色都是咖啡色。此結果讓我們大感意外，因為有許多之前的研究報告顯示，影響蝶蛹的蛹色，主要是由環境中的顏色所致，在葉上化蛹則成為綠色，在枝條上化蛹則是咖啡色。

- 6、在全黑飼養盒中，我們發現紋白蝶的蝶蛹體型，較其他飼養盒的蛹來得小。且蛹色呈現深墨綠色。用照度計測量飼養盒內的照度時，發現照度為零。在紋白蝶長期的演化過程中，是絕對不可能出現一種全黑的環境，可能因此而導致蛹體型較小，且蛹色差異很大。
- 7、在不同照度的試驗中，同一個飼養盒，在不同位置上化蛹，蛹色也會有些微的差異。以正面透光飼養盒為例，在透明玻璃紙上化蛹則呈現粉綠色，而壓克力盒底部則呈現深綠色。在飼養盒內不同位置，照度自然也不同，因此導致蛹色的差異。
- 8、在不同照度試驗中觀察到的結果，與在田間採集幼蟲時，所發現紋白蝶的蛹色，呈現一致性。由於日本紋白蝶幼蟲的食草，是十字花科的蔬菜。蔬菜的莖、葉大多數都是綠色的，但田間採集到的蝶蛹，在葉面或照度大的位置蝶蛹是綠色，在葉背或照度小的位置，蛹色則是咖啡色。
- 9、飼養紋白蝶的過程中，發現飼養的濕度不能太高，濕度高幼蟲則容易死亡。在認識昆蟲及生物與環境這兩個單元中，紋白蝶是最易於取得的觀察材料，因此我們的試驗結果有助於提高飼養紋白蝶時的存活率與提供保護色這個機制的最佳教材。
- 10、紋白蝶的蛹期是不吃不動，完全沒有防禦能力，因此發展出一套能隨著環境的變化，而改變蝶蛹的顏色，是紋白蝶能存活，且族群得以大量繁衍的重要關鍵。日本紋白蝶的蛹，具有隨著環境中照度的不同，而改變蛹色的能力，因此日本紋白蝶堪稱是「百變蛹士」。

捌、參考資料

- 1.國小自然與生活科技四下。認識昆蟲。南一文教事業股份有限公司。
- 2.國小自然與生活科技四下。第二單元。康軒文教事業股份有限公司。
- 3.紋白蝶。華一彩色圖解自然科學叢書。
- 4.台灣自然大系 4-台灣常見的昆蟲。渡假出版社股份有限公司
- 5.普通昆蟲學。中興大學農學院出版。
- 6.中國孩子的自然圖書館。擬態與保護色。
- 7.歷屆中小學科學展覽作品說明書。

【評語】 080318

優點：研究題目是自然界普通避敵機制「保護色」的相關研究，若能釐清，可以解釋的範圍相當大。

建議：對前人研究成果的了解及整理可再加強，用以強調自己的研究與前人有那些差異，另外，實驗設計及材料還有探討加強的空間。