

臺灣二〇〇八年國際科學展覽會

科 別：動物學

作品名稱：大鳳蝶衣櫥裡的祕密-大鳳蝶母蝶的型態研究

得獎獎項：佳作

學校 / 作者：高雄市立楠梓高級中學

江彗禎

作者簡介



我是江慧禎，今年 17 歲，就讀於高雄市立楠梓高中三年級。從小就對生物世界充滿好奇，對大自然生態極為嚮往，藉此機會參加科展，研究大鳳蝶。我的個性是個踏實且樂觀的人，做事都一步一步慢慢來。有點粗線條的我很容易緊張慌了手腳，學習改正錯誤並且耐心的把錯誤一一更正，所以做研究的過程中有些辛苦，課業壓力也一直伴隨，但研究對我來說充滿許多樂趣也因此得到許多經驗與新知，並且也學習到與別人溝通的技巧與方法以及自我的表達能力。

這一年，在佳昌老師的指導下，是我目前學業生涯裡成長最多、最豐富的時候了，一路上有許多人給我協助與支持，最後僅在此謝謝所有曾教導與支持我的師長與同學。我也因為做科展的過程中，心智年齡長大了不少，最感謝的還是最敬愛的佳昌老師，感謝老師的耐心與包容。

大鳳蝶衣櫥裡的祕密 - 大鳳蝶母蝶的型態研究

作品說明書目錄

摘要.....	1
前言.....	1
壹、大鳳蝶型態描述.....	1
貳、基本認識.....	3
一、分類地位.....	3
二、生活史介紹.....	4
參、研究架構.....	4
研究動機.....	5
壹、好奇心.....	5
貳、結合課程.....	5
研究目的.....	5
實驗方法及步驟.....	5
壹、實驗器具.....	5
貳、實驗設備.....	6
參、培養成蝶.....	8
肆、實驗假設.....	8
一、環境因子.....	8
二、遺傳.....	9
伍、雜交實驗.....	9
一、一雄一雌的交配模式.....	10
二、一雄二雌的交配模式.....	12
實驗結果.....	14
壹、生活史各階段.....	14
貳、實驗數據的分析與討論.....	17
一、環境因子.....	18
二、遺傳.....	18
三、蛹色的探討.....	20
四、幼蟲形態與成蟲形態之關係.....	20
討論實驗過程及建議.....	21
結論.....	22
參考文獻與其他.....	22
附錄：遺傳模式之探討.....	I

Abstract

Swallowtail species, *Papilio memnon heronus* Fruhstorfer, demonstrates sexual dimorphism with four forms in females: melanism with tails, melanism without tails, albinism with tails, and albinism without tails. This study is to understand whether environment or genetics causes the differences. Besides, we hope to discover any possible link between characteristics of larvae and the morphology of adults. We understand it is the genetic factor that controls the expression of different morphologies. The two characteristics (body color and existence of tails) are controlled by two separate genes located on different chromosomes, and the inheritance pattern is consistent with that of Mendel's law of inheritance. As for the observation in larva stage, we fail to notice any characteristics can indicate the future morphology of a particular larva.

摘要

本研究主要是在探討為何大鳳蝶雌蝶會有四種不同的形態：1.有尾白化 2.有尾黑化 3.無尾白化 4.無尾黑化，而造成此形態差異的原因又是什麼？探討造成此形態差異的成因分為兩種：1.環境因子造成的 2.遺傳因子造成的，我們也就是從這兩大方向去做實驗，對於環境因子，我們的實驗設計是列出可能影響的因子（例：光照、溫度），而我們第一個探討的因子就是光照，然而，後來發現有尾黑化的雌蝶，其子代在有光照及無光照的環境下皆有無尾黑化、無尾白化、有尾黑化的雌蝶出現，而且可以從實驗很明顯的看出有尾的雌蝶，生下無尾的雌蝶為多數而非定值，故我們可以確定造成此形態差異的因子不是環境，所以我們又趕快從遺傳因子去做探討是何種遺傳類型造成的，實驗結果確定影響翅色及尾突的遺傳皆為孟德爾遺傳。

前言

「大鳳蝶 *Papilio memnon heronus* Fruhstorfer」是蝴蝶中常見的蝶種，而牠的寄主植物（芸香科 Rutaceae）也較容易取得，例如：檸檬、金桔。所以在觀察其生活史或研究上，取材容易。而大鳳蝶雄蝶主要以黑色為主，在黑色的翅膀上灑上一些藍色亮粉，個體之間較無明顯差異。而雌蝶因翅膀的顏色與形態不同可分為以下四種形態：1.有尾白化、2.有尾黑化、3.無尾白化、4.無尾黑化。我們的研究就是針對以上的四種形態去做假設、實驗、討論其成因。一般而言，造成生物在外表上不同的成因主要可以分成兩大類：1.環境、2.遺傳，而我們的研究就是針對此兩大變因進行。我們想瞭解是那一個因子造成大鳳蝶雌蝶在形態上的差異。在第一點「環境」上，我們所探討的環境因子分別有四種：1.食草、2.光照、3.溫度、4.濕度。如果形態的不同不是由環境因子造成的話，我們則探討遺傳是否才是真正的主因，我們檢驗兩種不同的遺傳類型：1.孟德爾遺傳（一般遺傳）2.性聯遺傳。

我們也從此研究中加深了我們對「環境多形性」（註一）、「遺傳多形性」（註二）的了解和「遺傳學」（註三）的重要性。簡單來說，「環境多形性」通常的定義是：缺乏遺傳基礎的世代，因環境因子造成同種生物間有不同形態的差異。「遺傳多形性」的定義則是：幾乎完全由遺傳決定同種生物間有不同形態的差異，不過環境也有可能伴隨一起影響。遺傳常常是造成同種生物間不同的主因，遺傳學是和人類息息相關的一門學問，例如：遺傳學可以應用在農業上，加以改良食物的品種，提高食物的品質和產量。也可應用在醫學上，可以設法預防先天的遺傳疾病，達到優生學的目的。總而言之，遺傳學對於全人類的福祉貢獻良多。

壹、大鳳蝶形態描述

雄蝶：雄蝶翅膀的背面為黑色，在其上有不少藍色亮粉，如圖一。

雌蝶：雌蝶前翅有線條黑白相間，基部有一個瓣狀的紅斑，而後翅形態因尾突的有無又分為有尾型、無尾型，此兩種類型又分別皆有黑化、白化兩型（表一）。因此雌蝶共有四型：黑化有尾型（圖二）、白化有尾型（圖三）、黑化無尾型（圖四）、白化無尾型（圖五）。

表一 大鳳蝶的形態比較

<p>雄蝶</p>			<p>(圖一) 雄蝶底色為黑色，後翅翅脈表面上有一層水青色的放射狀斑紋(註四)，線條色彩分明，沒有尾突。</p>
<p>雌蝶</p>	<p>有尾型： 後翅尾端有黑色的尾突。</p>	<p>黑化型</p> 	<p>(圖二) 後翅基部有明顯白斑點比第一翅節的黑斑點小或一樣，黑白點大小一樣被分為黑化因為當一樣大小時，黑色斑紋區塊會明顯比白色斑紋區塊大，後翅外緣各翅室具有橙色。</p>
		<p>白化型</p> 	<p>(圖三) 後翅基部有一明顯白斑點比第一翅節的黑斑點大，後翅外緣各翅室具有橙色斑紋。</p> <p>※參考文獻(二) 圖片來源</p>

無尾型： 後翅尾端 無黑色尾 突。	黑化型		(圖四) 後翅白色長斑 上有明顯黑斑 點，在此型中， 這一些黑色的 斑點會有相連 的現象，腹部顏 色為黑色。
	白化型		(圖五) 後翅白色長斑 上有明顯黑斑 點，在白化型 中，這一些黑 色的斑點未相 連，腹部顏色 為黑色。

其中有尾型和無尾型有二個主要的差異：(1)有尾型的雌蝶具有尾型，而無尾型則無，(2)有尾型的雌蝶腹部為金黃色，無尾型為黑色。

貳、基本的認識

一、分類地位

分類地位：動物界→節肢動物門→昆蟲綱→鱗翅目→鳳蝶科→鳳蝶亞科→鳳蝶族

大鳳蝶（註五）

學名：*Papilio memnon heronus* Fruhstorfer

別名：長崎鳳蝶、美鳳蝶

分布：台灣、日本南部、中國南部、中南半島、馬來半島、蘇門達臘、爪哇等

寄主食物：芸香科植物（大鳳蝶最喜歡在柑橘屬植物的葉背產卵）

蜜源植物：馬櫻丹、繁星花、仙丹花……。

二、生活史介紹

大鳳蝶生活史有四個階段：卵→幼蟲（五個齡期）→蛹→成蟲（羽化成蝶），為完全變態的昆蟲。生活在低、中海拔地區（註六），喜歡吸食花蜜，雄蝶則還會在濕地吸水，雌蝶則常會徘徊在寄主食物附近（註七），等待交配與產卵，為常見蝶種。大鳳蝶幼蟲以芸香科植物為食，如：柚子、檸檬、柳丁、金桔……。

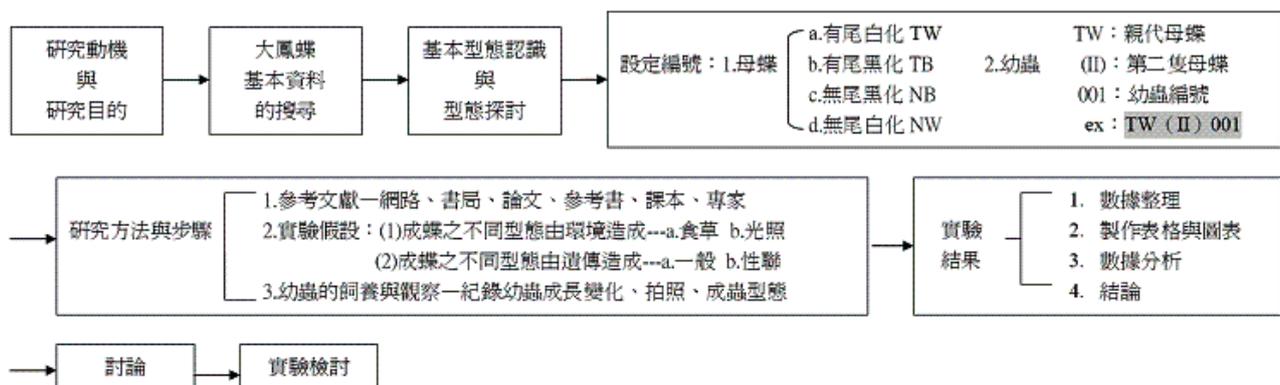
大鳳蝶產卵大多在葉的背面，卵呈黃色圓球狀（註八），會依照幼蟲形成過程中卵的顏色會有變化，由黃色變為灰色，胚胎發育完成時則變為黑色，此時幼蟲捲曲於卵殼內，最後即將孵出幼蟲會使用口器將卵殼部分咬破後鑽出，幼蟲孵出後並不會完全吃掉卵殼（註九）。幼蟲階段可分為五個齡期，每增長一個齡期使頭殼及體型略增，根據蛻皮的頭殼寬度可推測其齡期，而完成一個大鳳蝶的生活史需要 28~50 天。幼蟲外部形態可分為胸部與腹部，胸部有三對胸足，腹部前段有肉足、後段為尾足。鳳蝶科的幼蟲有另一個特徵就是牠們在受到刺激的時候，會在頭和胸部之間吐出臭角。

剛孵出的一齡蟲顏色為黑灰色，會自行取食嫩葉，體表有小刺毛，第 4、5 腹節有 V 型白色紋。經過一次蛻皮即稱為二齡蟲，顏色則較偏灰綠色，疑似為鳥糞，為大鳳蝶的擬態情形（註十）。經過兩次蛻皮即稱三齡蟲，顏色漸漸轉為深綠色，夾雜明顯的白色斑紋，刺毛逐漸消失。經過三次蛻皮即稱為四齡蟲，體色為明顯的綠色，此時的幼蟲在受到驚嚇或干擾時會翹起前半部，以及展開胸部上方叉狀的橘紅色半透明狀的臭角，其能發出異味驅趕天敵（註十一）。經過四次蛻皮即稱為五齡蟲（終齡幼蟲），剛蛻完皮的終齡幼蟲體側有黃條紋是因表皮細胞的色素還未穩定之緣故（註十二），經約一天後，體色為鮮明的翠綠色、斑紋明顯，有一對圈型眼紋看似蛇的頭部，可以減少天敵的攻擊，第一腹節後方有一圈狀黑帶紋，第 4~5 腹節背方有白色 V 字型紋，第 9 腹節為白色，背方有一對白色短錐狀突起（註十三）。食量大、活動力強，到處尋找定點吐絲做化蛹的準備（註十四）。

每蛻皮前後，幼蟲會不食不動。藉由蛻皮來增大身體，頭殼會漸漸增大，與齡期增長成正比。蛻皮之後的幼蟲有些將會把舊皮吃掉（註十五）。

即將羽化出來的成蟲，蛹殼從頭部裂開，首先露出足和觸角，身軀漸漸掙脫蛹殼。此時在蛹期堆積的排泄物也會在這個時候溢出。剛羽化時的成蟲，翅膀皺縮而軟弱，需找適當地點垂吊，直到展開形成乾燥硬化的翅膀就可以正常飛行了（註十六）。

參、研究架構



研究動機

壹、好奇心

在一年級的暑假跟著老師去踏青，順道參觀蝴蝶園，請園長替我們介紹園內所有蝴蝶，因此認識了大鳳蝶，而我們觀察到每一隻大鳳蝶的雄蝶個體之間的形態上並無明顯差異，可是雌蝶分成有尾型和無尾型兩種，除此之外，我們還看到有的雌蝶比較白、有的比較黑。我們好奇地想了解造成大鳳蝶雌蝶不同形態的原因為何。我們得知有些其他蝴蝶的雌蝶會有「有多形性」(註十七)的現象，根據調查圖鑑(註十八)後，我們發現鳳蝶科的大鳳蝶(*Papilio memnon heronus* Fruhstorfer)與玉帶鳳蝶(*Papilio polytespolytes* Linnaeus)和小灰蝶科的台灣綠小灰蝶(*Chrysozephyrus disparatus pseudotaiwanus* Howarth)，雌蝶也會有不同的形態出現。我們想利用取材較容易的大鳳蝶來探討其成因，因此我們做了此研究，以探討造成大鳳蝶雌蝶形態不同的因素。

貳、結合課程

在生物學上都屬同一種大鳳蝶雌蝶，為什麼會有四種形態的差異呢？是環境引起的？或者是遺傳造成的呢？這引發了我們的好奇，又剛好在基礎生物的第三章第四節提到，生物的形態會隨著環境而改變（生物與環境的交互作用）(註十九)，在生命科學第二冊的第七章也有提到遺傳造成形態的不同，(例：孟德爾遺傳定律)(註二十)這一切的種種都誘發了我們熱切的好奇心，我們就開始詢問老師、上網查資料，不過網路上的資料普遍不齊全，所以這就是我們想要做科展的實驗動機。我們想要瞭解：1.由環境因素造成大鳳蝶雌蝶有四種形態的差異，或者 2.由遺傳因素造成大鳳蝶雌蝶有四種形態的差異。

研究目的

- 壹、探討造成大鳳蝶雌蝶有四種形態差異的因素。
- 貳、觀察是否能提早從幼蟲辨認出有尾、無尾、黑化、白化之間的差異。
- 參、探討環境因子及蛹色與成蝶型態的相關性。
- 肆、學習孟德爾遺傳定律及性聯遺傳法則。
- 伍、學習從幼蟲培養成蝶的過程與方法。

如何設計實驗—實驗方法及步驟

壹、實驗器具

一、檸檬葉、金桔葉

為幼蟲所食用的食草，必須注意以無農藥，且能長期穩定供應。

二、金桔盆栽

利用盆栽的擺設來吸引雌蝶產卵。

三、蜜源植物

利用馬纓丹、繁星花、馬利筋來當作成蝶的食物來源。

四、飼養盒的規格

1. (7.5×15×4.5) cm
2. (10.5×15×7.5) cm
3. (10.5×18.5×4.5) cm

五、恆溫培養箱

- 1.公司行號：HSIN CHIEN XIANG
- 2.利用恒定的環境因子來進行實驗。設定溫度：27°C；設定相對度 85%；光照時間：12 小時光照：12 小時黑暗。

六、漂白水

需將幼蟲死亡的盒子一一消毒，防止細菌孳生影響其他幼蟲，順應環保不該過份使用全新塑膠盒。

七、衛生紙、海綿、毛筆：

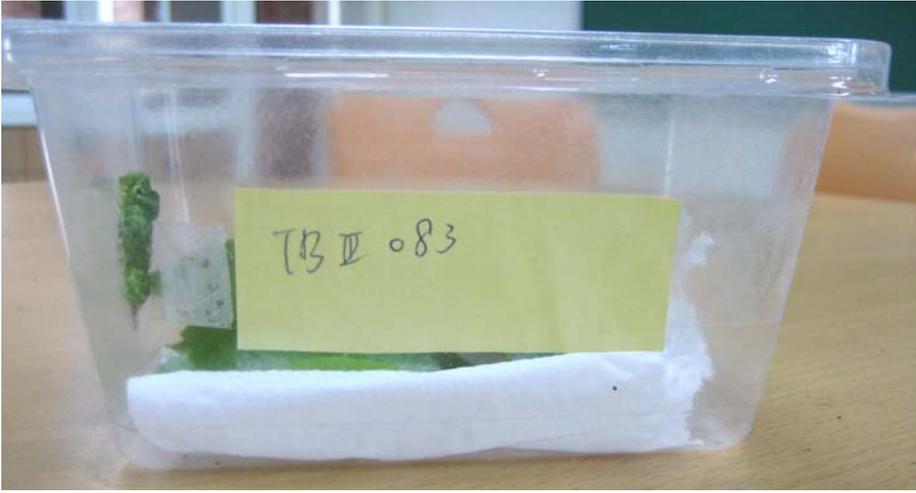
為清理幼蟲時，擦拭的必備器具。

八、網室

利用網室(長、寬、高約 3m x 1.5m x 2m)來進行蝴蝶的交配實驗和採卵工作。

貳、實驗設備及器材的照片(幼蟲的培養)

器具名稱	照片
恆溫培養箱 (圖六)	
用途	幼蟲生活環境設定為溫度：27°C、相對溼度 85%、12 小時光照。

<p>幼蟲飼養盒外觀 (圖七)</p>	
<p>用途</p>	<p>盒子底層放衛生紙，可吸收多餘水氣，幼蟲編號貼在盒子側邊以便觀察及紀錄。</p>
<p>飼養盒 (圖八)</p>	
<p>用途</p>	<p>清理及飼養幼蟲的盒子，使用完後用清水清洗放置陰涼處陰乾。</p>
<p>幼蟲生長環境 (圖九)</p>	
<p>用途</p>	<p>新鮮葉子基部必須包一層衛生紙，當幼蟲至五齡時放置樹枝以利幼蟲化蛹。</p>

<p>網室（圖十）</p>	
<p>用途</p>	<p>為成蟲的居住環境，網室內有大鳳蝶的蜜源植物與產卵用的植物。</p>

參、培養成蝶

- 一、親代雌蝶交配與產卵：將各型雌蝶與雄蝶交配後，套到含有柑橘樹的網子中，或放置於網室中使其產卵。
- 二、幼蟲飼養：在 27°C、相對溼度 85%、光照時間：12 小時的恆定條件下。
 - 1.食草與飼養盒：幼蟲孵化後，以檸檬葉為食草餵養，先將葉片一一洗淨擦乾後放置飼養盒內，註明產卵日期及編號，所有器材得擦拭乾淨，以防止飼養盒內滋生細菌、黴菌。
 - 2.清理與紀錄：製作幼蟲成長紀錄表格，每天定時清理排泄物，並放置新鮮食草，以及觀察紀錄：(1)各齡蟲期的長短、(2)幼蟲之間體色的差異。
 - 3.仔細觀察：在飼養過程中，觀察是不是在幼蟲身上有不同的行為或特徵出現。
- 三、成蟲飼養觀察及記錄：養至五齡蟲時，我們放置樹枝以便幼蟲化成蛹，紀錄化蛹顏色以及化蛹位置。在成蟲羽化後，記錄其形態與性別。
- 四、成蝶的食物來源：網室內放置大鳳蝶的蜜源食物，包括馬纓丹 (*Lantana camara*)、馬利筋 (*Asclepias curassavica*)、繁星花 (*Pentas lanceolata*)。成蝶羽化後，讓成蝶自行吸蜜，可維持壽命長達一至二個月。

肆、實驗假設

一、環境因素造成大鳳蝶雌蝶的不同外型

在專業蝴蝶園主人的飼養經驗中，他覺得環境所造成的影響是有限的。可是我們還是得測試看看，因為飼養的結果不一定是自然界中真正的情形。在環境因子方面，我們先利用完全相同的環境因子來做為測試，如果在相同的環境下產生不同外型的雌蝶的

話，則可以認定大鳳蝶雌蝶的外型不是由環境因子造成。如果在相同的環境下，所產生的各體均為同一型的話，則代表環境的確是影響外型的因子。

1.食草：固定使用檸檬葉。

2.光照：

在光照方面，設計兩組實驗：

(1) 光照組：使用恆溫箱設定光照時數（日：12hr、夜：12hr）。

(2) 無光照組：我們使用不透光的紙箱將幼蟲飼養盒置於其中，造成完全無光照的情形，只有在換食草時才可能接受短暫的光線。

3.溫度：將幼蟲飼養於恆溫箱內，設定溫度 27°C。

4.溼度：將幼蟲飼養於恆溫箱內，設定相對濕度 85%。

二、大鳳蝶雌蝶的不同外型由遺傳所造成

在高二遺傳學中，有兩種遺傳類型可以拿出來討論，就是一般孟德爾遺傳所進行的豌豆雜交實驗和莫干所進行的果蠅實驗所得知的性聯遺傳。在大鳳蝶中，因為只有雌蝶會有不同的形態出現，而這樣與性別有關的表現型，會讓我們不禁想探討性聯遺傳和本實驗的關係。所有可能的假設均以條列式的方式呈現，而詳細的假設則列在最後的附錄中。

1.一般孟德爾遺傳（註二十一）：

利用課本中所提及的概念（每一種性狀都有顯、隱性之分，而個體性狀的表現是以兩種遺傳因子的組合而成，通常以大寫字母為顯性基因、小寫為隱性基因）來提出可能的所有假設，再利用實驗的結果來得知那一個假設成立，進而瞭解尾突與翅膀顏色這兩個性狀的遺傳情形。

2.性聯遺傳（註二十二）：

有些性狀的基因剛好位於性染色體上，所以會出現此性狀的個體必為雄性或雌性（同一性別）。而在性染色體上的遺傳基因有雌雄分別為 XX 和 XY 者，稱 XY 型。而蝶、蛾及鳥類等的性染色體屬 ZW 型，與 XY 型的情形相反，位於 Z 染色體的隱性基因，在雄性必須要同型合子才會表現該性狀，而雌性只要其僅有的一個 Z 染色體上有此基因，性狀便會表現出來。（註二十三）同樣地，所有可能的遺傳假設也都得提出，並且一一驗證。

伍、雜交實驗（交配實驗）

依照不同的雌蝶形態進行雜交實驗，我們利用人工交配的方式以確定交配的情形。接下來則是該選擇何種的配對方式，以下為我們所討論出來的可能模式：

模式 1 (1♂ × 1♀) :

優點：一雄蝶對一雌蝶的雜交模式可以讓我們知道這兩個性狀的遺傳模式。

缺點：然而雌蝶在表現型上，可能為同型合子，也可能是異型合子，一對一的雜交方式無法得知雌蝶的基因型，因此無法利用子代推算親代雌蝶的基因型。

模式 2 (多♂ × 1♀) : 此實驗假設不是最好，因雄蝶精子有殘留現象，影響實驗準確度，我們無法得那一隻雄蝶會對子代的遺傳上有比較大的影響。

模式3 (1♂ × 2♀)：我們將一隻雄蝶與隱性雌蝶試交，再與一隻顯性雌蝶雜交，利用各子代雌蝶比例，即可推算出親代雌蝶的基因形態。

因此在遺傳的實驗上，我們採用兩個步驟的實驗。第一，我們利用一對一的交配（模式1），來尋找出可能的遺傳類型。第二，我們利用一雄蝶對二雌蝶的方式（模式3），來確定那一個性狀是顯性，那一個性狀是隱性。



（圖十一）進行人工雜交實驗，選出適合的雌蝶與雄蝶進行交配。

一、以下假設為一隻雄蝶對一隻雌蝶（模式1）的假設，其假設為用來判斷蝴蝶遺傳類型為何

1.白化、黑化型（性聯遺傳的假設）

假設 1-1：

白化隱性基因在 X 上，代號： X^w

假設 1-2：

黑化隱性基因在 X 上，代號 X^b

假設 1-3：

白化顯性基因在 X 上，代號： X^W

假設 1-4：

黑化顯性基因在 X 上，代號 X^B

假設 1-5：

白化隱性基因在 Y 上，代號： Y^w

假設 1-6：

黑化隱性基因在 Y 上，代號 Y^b

假設 1-7：

白化顯性基因在 Y 上，代號： Y^W

假設 1-8：

黑化顯性基因在 Y 上，代號 Y^B

2.白化、黑化型（一般孟德爾遺傳的假設）

假設 2-1：

白化爲顯性，其基因型爲： II 、 Ii

黑化爲隱性，其基因型爲： ii

2-1-1 若雌蝶爲白化（顯性）

2-1-2 若雌蝶爲黑化（隱性）

假設 2-2：

白化爲隱性，其基因型爲： ii

黑化爲顯性，其基因型爲： II 、 Ii

2-2-1 若雌蝶爲白化（隱性）

2-2-2 若雌蝶爲黑化（顯性）

3.有尾、無尾型（性聯遺傳的假設）

假設 3-1：

有尾隱性基因在 X 上，代號： X^t

假設 3-2：

無尾隱性基因在 X 上，代號 X^n

假設 3-3：

有尾顯性基因在 X 上，代號： X^T

假設 3-4：

無尾顯性基因在 X 上，代號 X^N

假設 3-5：

有尾隱性基因在 Y 上，代號： Y^t

假設 3-6：

無尾隱性基因在 Y 上，代號 Y^n

假設 3-7：

有尾顯性基因在 Y 上，代號： Y^T

假設 3-8：

無尾顯性基因在 Y 上，代號 Y^N

4.有尾、無尾的（一般孟德爾遺傳的假設）

假設 4-1：

有尾爲顯性，其基因型爲： AA 、 Aa

無尾爲隱性，其基因型爲： aa

4-1-1 若雌蝶爲有尾（顯性）

4-1-2 若雌蝶爲無尾（隱性）

假設 4-2：

有尾爲隱性，其基因型爲： aa

無尾爲顯性，其基因型爲： AA 、 Aa

4-2-1 若雌蝶為有尾（隱性）

4-2-2 若雌蝶為無尾（顯性）

二、以下的實驗利用 2♀ （不同形態） $\times 1\text{♂}$ （模式 3）的雜交實驗，利用此實驗方式來確定那一個性狀由顯性的基因控制：

5.有尾、無尾型（一般孟德爾遺傳）：

假設 5-1：

有尾為顯性，其基因型為： AA 、 Aa

無尾為隱性，其基因型為： aa

假設 5-2：

有尾為隱性，其基因型為： aa

無尾為顯性，其基因型為： AA 、 Aa

6.黑化、白化型（一般孟德爾遺傳）

假設 6-1：

白化為顯性，其基因型為： II 、 Ii

黑化為隱性，其基因型為： ii

假設 6-2：

白化為隱性，其基因型為： ii

黑化為顯性，其基因型為： II 、 Ii

7.有尾型、無尾型（性聯遺傳）

假設 7-1：

有尾隱性基因在 X 上，代號： X^t

假設 7-2：

無尾隱性基因在 X 上，代號 X^n

假設 7-3：

有尾顯性基因在 X 上，代號： X^T

假設 7-4：

無尾顯性基因在 X 上，代號 X^N

假設 7-5：

有尾隱性基因在 Y 上，代號： Y^t

假設 7-6：

無尾隱性基因在 Y 上，代號 Y^n

假設 7-7：

有尾顯性基因在 Y 上，代號： Y^T

假設 7-8：

無尾顯性基因在 Y 上，代號 Y^N

8.黑化型、白化型（性聯遺傳）

假設 8-1 :

白化隱性基因在 X 上，代號： X^w

假設 8-2 :

黑化隱性基因在 X 上，代號 X^b

假設 8-3 :

白化顯性基因在 X 上，代號： X^W

假設 8-4 :

黑化顯性基因在 X 上，代號 X^B

假設 8-5 :

白化隱性基因在 Y 上，代號： Y^w

假設 8-6 :

黑化隱性基因在 Y 上，代號 Y^b

假設 8-7 :

白化顯性基因在 Y 上，代號： Y^W

假設 8-8 :

黑化顯性基因在 Y 上，代號 Y^B

實驗結果

壹、生活史各階段

時期	身體形態構造及行爲特徵	說明
卵	 	<p>(圖十二) 剛由雌蝶產下的卵。</p> <p>(圖十三) 最左邊白色為已孵化的空殼，左邊數來第二顆黃色為未孵化的卵，左邊數來第三顆為快孵化的卵，最右一顆為剛孵化的幼蟲正在吃掉卵殼，因為卵殼中有和幼蟲骨骼相同的幾丁質。</p>
1 齡蟲	 	<p>(圖十四)(圖十五) 一齡蟲顏色為黑灰色，體表有小刺毛，第 4、5 腹節有 V 型白色紋。</p>

2 齡蟲		<p>(圖十六) 綠色型 2 齡蟲</p> <p>(圖十七) 深色型 2 齡蟲</p> <p>2 齡蟲身上的小刺毛開始變少。在觀察的過程中，可以發現二齡蟲的體色可分成綠色型和黑色型（深色型）二種。</p>
3 齡蟲		<p>(圖十八) 綠色型 3 齡蟲</p> <p>(圖十九) 深色型 3 齡蟲</p> <p>和二齡蟲一樣，在這個齡期中，幼蟲可以分成綠色型和黑色型（深色型）兩種。</p>
4 齡蟲		<p>(圖二十)</p> <p>經過三次蛻皮即稱為四齡蟲，體色為明顯的綠色</p>

5 齡蟲		<p>(圖二十一)</p> <p>終齡蟲的體色和其他齡期有明顯的不明，此時的幼蟲，在胸部具有假眼斑，可以嚇阻敵人，而且臭角具有相當濃的臭味。</p>
前蛹		<p>(圖二十二)</p> <p>在進入蛹期前，幼蟲會進入前蛹的狀態，只要再脫一次皮，就真正進入蛹期。</p>
蛹		<p>(圖二十三) 綠色型的蛹 (圖二十四) 褐色型的蛹</p>



雄蝶



雌蝶(有尾) 雌蝶(無尾)

(圖二十五) 成蝶中雄蝶僅有一型，雌蝶具有四型 (此標本照中為黑化有尾型、黑化無尾型)

表一 各時期所需的天數

從卵到羽化需 28~50 天						
卵	1 齡蟲	2 齡蟲	3 齡蟲	4 齡蟲	5 齡蟲	蛹
3~5 天	2~5 天	2~6 天	2~6 天	2~6 天	7~10 天	10~12 天

貳、實驗數據的分析和討論

實驗一開始的雌蝶由南投縣埔里鎮埔里蝴蝶牧場所購買，每一形態的雌蝶共有二隻，而且是已經有交配過的雌蝶，並且給予每隻母蝶個體編號。(a)有尾白化 TW，(b)有尾黑化 TB，(c)無尾黑化 NB，(d)無尾白化 NW。T 指的是有尾型，N 指的是無尾型，B 指的是黑化，W 指的是白化。TB(I)指的是黑化有尾型的第一隻雌蝶，NB(II)指的黑化無尾型的第二隻雌蝶。在幼蟲方面，由 TB(I)生的卵中，所孵化出來的第一隻幼蟲為 TB(I)001，第二隻幼蟲為 TB(I)002，以此類推。

在第一次的幼蟲飼養過程中，雖然每一隻雌蝶都有產下超過 50 顆的卵，但是因為病菌感染的關係和飼養經驗的不足，所以前前後後實驗失敗了很多次，而我們第一批成功羽化成蝶的是 TB (II) 的子代。我們由實驗確定環境因素是否影響母蝶形態，若不影響時我們可以判斷造成母蝶形態不同的因素為遺傳，接著我們必須找出影響母蝶形態的遺傳類型為何者。以下是我們的實驗分析與討論。

一、探討環境因素是否造成影響：實驗的親代雌蝶為 TB (II)

1.光照對有尾或無尾的數據分析：

表二 在有光照和無光照下，黑化有尾型母蝶的後代具有尾突的情形

食草	幼蟲皆食用檸檬葉			
親代雌蝶	有尾 TB (II)			
光照	有光照		無光照	
子代雌蝶形態	有尾	無尾	有尾	無尾
數量	1	2	0	6

結論：

在這一批結果中，在相同生長環境中食用同一種食草的幼蟲，在羽化後會產生有尾和無的兩種形態，所以可以推論食草不會影響有尾型和無尾型的產生。在光照的條件中，可以看到有光照的情形中，同時會有有尾和無尾的形情出現，而無光照中的個體均為無尾型，因此在無光照的情形下，可能比較容易產生無尾型。可是在有光照的組別中，可以發現無尾型的數量也比無尾型多，這樣的一個現象推翻了無光照易造成無尾型產生的推論，加上這整批的子代中是以無尾型居多，因此有可能環境對其所造成的影響並不大。

2.光照對黑化型或白化型的數據分析：

表二 在有光照和無光照下，黑化有尾型母蝶的後代體色的情形

食草	幼蟲皆食用檸檬葉			
親代雌蝶	黑化 TB (II)			
光照	有光照		無光照	
子代雌蝶形態	白化	黑化	白化	黑化
數量	2	0	1	4

結論：

在這一組數據的分析中，我們無法觀察到環境因子是不是會造成雌蝶形態上一致的變化，因此也推翻了環境會造成黑化和白化的現象。

3.在溼度和溫度方面，幼蟲都養置恆溫箱，設定溫度 $27\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相對濕度 $85\pm 1\%$ ，在均質的環境下，雌蝶出現的形態並沒有一致性，所以也可以推翻溼度和溫度對雌蝶形態的影響。

二、遺傳因子與大鳳蝶的形態的關係

在我們實驗中，因為幼蟲疑似被病毒或細菌感染，接連大量死亡，所以造成我們實驗數據太少，而在有尾、無尾的部份其（模式 1）一親代有尾雌蝶 TB(II)所產下的子代只有九隻為雌蝶，而其中無尾比有尾的比為 8：1。

1. 拿來對照我們一隻雌蝶與一隻雄蝶雜交的遺傳假設（模式 1），發現在一般遺傳中有二項假設：(1)假設 4-1 中的第 6 項，(2)假設 4-2 中的第 2 項，符合我們的實驗結果。在這兩個假設中，我們無法得知控制尾突產生的基因何者為顯性、何者為隱性。
2. 在性聯遺傳中，目前結果能確定的是顯隱性基因在 X 染色體上。是因為假設顯隱性基因在 Y 染色體上，則雌蝶形態皆由親代雌蝶控制，確定不符合我們的實驗結果。而上述的親代有尾雌蝶所產下的子代存活數目為九隻，而其中只有一隻為有尾，而從此結果刪去附錄一中的一隻雌蝶與一隻雄蝶雜交的性聯遺傳假設，只會剩下兩種可能：(1)假設 3-1 的第 2 項、第 5 項，(2)假設 3-3 的第 2 項、第 5 項。但在這兩個假設中，我們還是無法得知控制尾突產生的基因何者為顯性、何者為隱性。所以我們又在有尾、無尾的實驗中加做了（模式 3） $1\delta \times 2\text{♀}$ 的雜交實驗。

表三 $1\delta \times 2\text{♀}$ 的雜交實驗中，成蝶的配對狀況

雄蝶編號	母蝶編號	子代母蝶形態	
		T : N	B : W
001 $\delta \times$	002 ♀ (TB)	13 : 0	11 : 2
	066 ♀ (TW)	2 : 0	2 : 0
003 $\delta \times$	029 ♀ (TW)	10 : 0	9 : 0
	016 ♀ (NB)	無產下後代	無產下後代
005 $\delta \times$	033 ♀ (NB)	0 : 8	8 : 0
	024 ♀ (TB)	1 : 4	5 : 0

結論：

利用以上子代母蝶數量推算與假設 5-1 有尾為顯性、無尾為隱性的機率情況相符，且 001 ♂ 的基因型為 AA，005 ♂ 的基因型為 aa，雖然 003 ♂ × 016 ♀ 無產下後代，但可利用與 029 ♀ 產下的子代母蝶推出 003 ♂ 的基因型態為 AA 或 Aa。

在黑化、白化的部份其親代黑化雌蝶 TB(II)(模式 1)所產下的子代只有七隻為雌蝶，而其中黑化比白化的比為 4：3。

1. 對照我們一隻雌蝶與一隻雄蝶雜交的遺傳假設，發現在一般遺傳中有兩種假設可能符合我們的實驗結果：(1)假設 2-1 的第 2 項，(2)假設 2-2 的第 6 項。在這兩個假設中，我們無法得知控制控制翅膀顏色的基因何者為顯性、何者為隱性。
2. 在性聯遺傳中，目前結果能確定的是顯隱性基因在 X 染色體上。是因為假設顯隱性基因在 Y 染色體上，則雌蝶形態皆由親代雌蝶控制，確定不符合我們的實驗結果。而上述親代雌蝶為黑化的一對一性聯遺傳符合可能假設：(1)假設 1-1 的第 2 項，(2)假設 1-2 的第 5 項，(3)假設 1-3 的第 2 項，(4)假設 1-4 的第 5 項。

表四 TB(III)的子代母蝶形態關係如下

親代母蝶	TB(III)		
子代母蝶數量	33		
翅色	黑化	27	≐ 3/4 為黑化
	白化	6	
尾突	有尾	20	≐ 1/2 為有尾
	無尾	13	

結論：

親代母蝶 TB(III)為黑化，子代母蝶機率符合一般孟德爾之遺傳類型：假設 2-2：黑化為顯性的第五項 $I_i \times I_i \rightarrow II、Ii、ii$ (白化雌蝶的機率為 1/4)，但因模式一的缺點而我們無法更確定的下定論，所以我們接下來用 1 ♂ × 2 ♀ 實驗來確認。而尾突在性聯遺傳的可能遺傳假設有四種：(1)假設 3-1 的第 5 項，(2)假設 3-2 的第 2 項，(3)假設 3-3 的第 5 項，(4)假設 3-4 的第 2 項；在一般孟德爾遺傳的可能遺傳假設有二種：(1)假設 4-1 第 6 項，(2)假設 4-2 第 2 項。

三、蛹色與成蝶形態之探討

表五 在蛹色與成蝶形態間的關係

蛹色	綠色 (樣本數=7)		褐色 (樣本數=1)	
	有尾	無尾	有尾	無尾
尾突有無	0	7	0	1
翅膀顏色	黑化	白化	黑化	白化
	2	3	1	0

※雌蝶為 TB(II)

結論：(1)在尾突方面，特定形態的出現和蛹的顏色看來並沒有一致性，因此無法由蛹的顏色來推論產生的個體形態。

(2)在翅膀顏色方面，特定顏色的出現和蛹的顏色也看不出一致性，因此無法由蛹的顏色來推論產生的個體之翅膀顏色。

在 TB(III)的雌蝶所產下的子代中，我們針對蛹的顏色做了新的記錄，在這一批的飼養中，因為衛生情形比較好，所以幼蟲並沒有大量地死亡，所以有比較多的樣本數。由此數據中，我們看到蛹色的機率在均質的環境中，似乎是隨機的。

表六 蛹色和成蝶型態的關係

蛹色	綠色（樣本數=34）		褐色（樣本數=32）	
	有尾	無尾	有尾	無尾
尾突有無	4	6	7	3
翅膀顏色	黑化	白化	黑化	白化
	7	8	8	2

結論：再次確定尾突及赤色與化蛹顏色沒有一致性，因此不互相關聯。

四、幼蟲形態與成蟲形態之的相關

一開始飼養的過程中，發現 2 齡蟲和 3 齡蟲有綠色和黑色兩種個體出現，在記錄後，發現幼蟲的體色沒有固定的現象，而且幼蟲的體色和成蟲的體色也沒有一致性。因此我們無法由幼蟲的顏色來推測成蝶的形態。

此外，我們無法比較觀察出不同幼蟲在形態上是不是有差異存在，所以也無法找出一個由幼蟲特徵推測成蝶形態的方式。

總結論：

我們將大鳳蝶幼蟲飼養在恆溫培養箱，設定溫度 $27\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相對濕度 $85\pm 1\%$ 、光照時數：12L：12D（L：有光照、D：無光照），經過羽化的成蟲並沒有完全有尾或無尾、黑化或白化，因此環境因素的溫度、濕度、光照不影響大鳳蝶雌蝶形態，羽化的成蟲不完全是同一表現型。大鳳蝶蛹的顏色分成綠色型和褐色型，依據實驗中蛹色的統計與分析，綠色型的蛹，羽化出來的雌蝶不完全有尾或無尾、黑化或白化，所以蛹色和大鳳蝶的形態無相關，也就是說化蛹的顏色相同，不代表成蝶會是同一基因型或同一表現型。將溫度、相對溼度、光照時數皆設為定值，飼養盒上所化的蛹也並非完全同一蛹色為綠色型或褐色型，依據我們的觀察，幼蟲都是在晚上（無光照）的時候將五齡頭殼脫去完成化蛹，在沒有光線因素之下還是有綠色型和褐色型之分，所以環境顏色及光照並不影響到蛹的顏色。

因此我們認定影響母蝶四種形態的因素為遺傳所造成的，且實驗結果推出影響尾突及翅色的遺傳類型皆為一般孟德爾遺傳，其中有尾為〈顯性〉、無尾為〈隱性〉；黑化為〈顯性〉、白化為〈隱性〉。

討論實驗過程及建議

從開始做實驗到現在，早已超過半年，而在這半年間我們大致上可分為兩個時期。前期的我們因為以前並沒有飼養蝴蝶的經驗，所以我們就先上網找些與大鳳蝶相關的資料、去埔里找大鳳蝶的幼蟲回來飼養、了解蝴蝶生活史、擬定實驗的方向、將大鳳蝶幼蟲培養成蝶，探討影響大鳳蝶雌蝶形態的因素，但是也因為生長季節變為冬季，使得幼蟲的生長速度明顯變慢、又因食草可能有殘留農藥、還有很明顯的幼蟲出現出血性的死亡，而飼養盒中有明顯的孢子出現，所以猜測應該是被不知名的病毒或細菌感染，而導致幼蟲大批死亡，使得實驗被迫從頭來過。而後期則因有了學校為我們增添新設備：恆溫培養箱，還有第一次實驗失敗的慘痛經驗得知：食草還是得找確定無農藥且來源穩定的才行，且飼養幼蟲的環境衛生也很重要，幼蟲的排泄物也一定要每天清乾淨，還要避免飼養盒裡面的水氣太多，因為如果水氣太多就很容易讓病毒或細菌藉由孢子擴散，還有盡量維持幼蟲有足夠且新鮮葉子，有了這些注意事項，讓我們在後期的幼蟲死亡量降低到五隻以下，進而能探討到底是環境因子、遺傳因子造成雌蝶的形態的差異。以上是我們整個做實驗簡略的過程，而目前我們的實驗也到一個段落了，實驗數據已經推算出影響翅色及尾突的遺傳類型皆為一般孟德爾遺傳。而建議的部份就是，如果大家以後要做類似研究時，務必要注意上述我們曾經面臨到的問題，避免和我們犯一樣的錯誤。如果能避免上述的問題，相信在實驗的進行也一定能順利許多。

結論

- 壹、環境因素不影響大鳳蝶雌蝶的形態，環境因素包括食草、光照、溫度、溼度。
- 貳、大鳳蝶蛹的顏色與大鳳蝶雌蝶的四種形態無直接關聯。
- 參、大鳳蝶幼蟲顏色與大鳳蝶雌蝶四種形態無直接關聯。
- 肆、利用 $1\delta \times 2\text{♀}$ 的雌蝶的子代母蝶推算出影響翅色的遺傳類型為一般孟德爾遺傳，黑化為〈顯性〉、白化為〈隱性〉。
- 伍、利用 $1\delta \times 2\text{♀}$ 的雌蝶子代推算出影響尾突有無的遺傳類型為一般孟德爾遺傳，有尾為〈顯性〉、無尾為〈隱性〉。

參考文獻及其他

壹、參考文獻：

一、資料來源：

註一：P. J. Gullan, P. S. Cranston；徐堉峰編譯(民 93)。第六章昆蟲發育與生活史中的第八節多形性及多表現性第二點環境多形性。**昆蟲學概論**(163 頁)。(二版)。臺北市。合記圖書。

註二：P. J. Gullan, P. S. Cranston；徐堉峰編譯(民 93)。第六章昆蟲發育與生活史中的第八節多形性及多表現性第二點遺傳多形性。**昆蟲學概論**(162-163 頁)。(二版)。臺北市。合記圖書。

註三：林比亨(民 93)。第三十三章遺傳法則。**生物講義(四)遺傳演化篇**(1 頁)。高雄市。高雄

- 中學生物教學研究會。
- 註四：陳隆盛(民 92)。雄蝶形態。**無尾港生態討論區內容之昆蟲調查篇中的大鳳蝶**。(民 92 年 11 月 10 日)。取自：http://www.ymes.ilc.edu.tw/wuwei/new_page_45.htm
- 註五：楊宗儒(民 94)。大鳳蝶。**臺灣蝴蝶書之大鳳蝶**(1 頁)。臺南市。翰林。
- 註六：林義祥(民 93)。大鳳蝶的簡介。**嘎嘎昆蟲網之鱗翅目鳳蝶科之大鳳蝶**。(民 93 年 08 月 31 日)。取自：<http://gaga.ies.mlc.edu.tw/new23/index9008.htm>
- 註七：楊宗儒(民 94)。大鳳蝶家譜之雄蝶與雌蝶。**臺灣蝴蝶書之大鳳蝶**(2-3 頁)。臺南市。翰林。
- 註八：蘇伯沅、鄭立娜(民 93)。大鳳蝶卵期。**昆蟲飼養樂無窮之昆蟲飼養與記錄**。(民 93 年 4 月)。取自：<http://www.nkps.tp.edu.tw/00075/nature/insects/insect-2-a.htm>
- 註九：卓珮婕。蝴蝶的卵。**婕兒~報告之蝴蝶的報告**。(民 96 年 3 月 26 日)。取自：<http://www.skps.tpc.edu.tw/~s105/%BD%B9%BD%BA%A3x%C2%B2%A4%B6.doc>
- 註十：柯素月(民 92)。大鳳蝶的一生。**草港國小蝴蝶園之大鳳蝶**。(民 92 年 9 月 28 日)。取自：<http://home.kimo.com.tw/kotatw/b0004.htm>
- 註十一：陳素瓊、歐陽盛芝(民 94)。大鳳蝶(*Papilio memnon heronus* Fruhstorfer)的生活史。**國立臺灣博物館學刊 58(1) : 47-58, 2005**。(民 94 年 5 月 31 日)。取自：[http://www.ntm.gov.tw/ntm_admin/publish/file/%A4j%BB%F1%BD%BA\(Papilio%20memnon%20heronus%20Fruhstorfer\)%AA%BA%A5%CD%AC%A1%A5v.pdf](http://www.ntm.gov.tw/ntm_admin/publish/file/%A4j%BB%F1%BD%BA(Papilio%20memnon%20heronus%20Fruhstorfer)%AA%BA%A5%CD%AC%A1%A5v.pdf)
- 註十二：國立暨南國際大學、國立自然科學博物館相關工作人員(民 96 年 3 月 26 日)。大鳳蝶。**國科會數位博物館先導計畫之蝴蝶生態面面觀**。(無日期)。取自：http://turing.csie.ntu.edu.tw/ncnudlm-cgi-bin/query_keyword/xmlShow.pl?filename=%A4j%BB%F1%BD%BA.xml
- 註十三：譚文皓、謝巧萱、王歲弘、陳思潔(民 92)。肆、研究過程及結果第一部份大鳳蝶的自然觀察 2.幼蟲(4)顏色。**戀戀鳳蝶~大鳳蝶化蛹之謎**(4 頁)。中華民國第四十三屆中小學科學展覽會作品說明書國小組生物科(編號：080304)。
- 註十四：譚文皓、謝巧萱、王歲弘、陳思潔(民 92)。陸、結論 二。**戀戀鳳蝶~大鳳蝶化蛹之謎**(17 頁)。中華民國第四十三屆中小學科學展覽會作品說明書國小組生物科(編號：080304)。
- 註十五：譚文皓、謝巧萱、王歲弘、陳思潔(民 92)。陸、結論 三。**戀戀鳳蝶~大鳳蝶化蛹之謎**(17 頁)。中華民國第四十三屆中小學科學展覽會作品說明書國小組生物科(編號：080304)。
- 註十六：譚文皓、謝巧萱、王歲弘、陳思潔(民 92)。肆、研究過程及結果第一部份大鳳蝶的自然觀察 4.羽化。**戀戀鳳蝶~大鳳蝶化蛹之謎**(4 頁)。中華民國第四十三屆中小學科學展覽會作品說明書國小組生物科(編號：080304)。
- 註十七：P. J. Gullan, P. S. Cranston；徐培峰編譯(民 93)。第六章昆蟲發育與生活史中的第八節多形性及多表現性。**昆蟲學概論**(162-163 頁)。(二版)。臺北市。合記圖書。
- 註十八：濱野榮次(民 75)。鳳蝶科、小灰蝶科。**台灣蝶類生態大圖鑑**。牛頓。
- 註十九：楊榮祥主編(民 93)。第三章第四節生物與環境的交互作用。**高級中學基礎生物全一冊**。(75 頁)。(四版)。臺中市。康熙圖書。
- 註二十：楊冠政主編(民 96)。第七章第三節基因與遺傳。**高級中學生命科學(下)**。(100-118

頁)。臺北縣。龍騰文化。

註二十一：(無作者)。科學異言堂 - 孟德爾。(民 96 年 3 月 26 日)。取自：<http://www.ssps.tn.edu.tw/userweb/tna011/s15.htm>

註二十二：林比亨 (民 93)。第三十四章染色體與遺傳第三節性聯遺傳。生物講義(四) 遺傳演化篇(25-31 頁)。高雄市。高雄中學生物教學研究會。

註二十三：林比亨 (民 93)。第三十四章染色體與遺傳第三節性聯遺傳蝶屬於性染色體屬於 ZW 型。生物講義(四) 遺傳演化篇(27 頁)。高雄市。高雄中學生物教學研究會。

二、圖片來源：(未列出來源者，為自己拍攝的照片)

圖四：林義祥(民 93)。無尾黑化。嘎嘎昆蟲網之鱗翅目鳳蝶科之大鳳蝶。取自：<http://www.gaga.url.tw/new23/9308/w39.htm>

圖五：賴金田、許美菊。無尾白化。竹湖山居之活動報報自然生態觀賞之大鳳蝶。取自：<http://www.gaga.url.tw/new23/9308/w39.htm>

三、其他參考文獻：

1. 林比亨 (民 93)。第三十四章染色體與遺傳。生物講義(四) 遺傳演化篇(19-40 頁)。高雄市。高雄中學生物教學研究會。
2. 林比亨 (民 93)。第三十三章遺傳法則。生物講義(四)遺傳演化篇(1-18 頁)。高雄市。高雄中學生物教學研究會。
3. 巫家豪、潘崧傑、陳雨柔、王喬益(民 94)。探討以芸香科(Rutaceae)植物為食之六種鳳蝶研究(1-30 頁)。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(編號：031705)。
4. 陳泓宇(無日期)。蝴蝶飼養指南之大鳳蝶篇。取自：<http://www.sinica.edu.tw/~hankchen/papilio001.html>

貳、特別感謝

感謝 指導老師、任課老師
埔里蝴蝶牧場羅先生、葉太太
對此研究有提供幫忙的任何人致上萬分的謝意
所有美麗的大鳳蝶

附錄

(一) 以下假設為一隻雄蝶對一隻雌蝶的假設，其假設為用來判斷蝴蝶遺傳類型 為以下何者

1. 白化、黑化型 (性聯遺傳的假設)

假設 1-1:

白化隱性基因在 X 上，代號: X^w 。

♀	基因型: XY	表現型: 黑化 (顯性)
	基因型: X^wY	表現型: 白化 (隱性)
♂	基因型: XX	表現型: 黑化 (顯性)
	基因型: X^wX	表現型: 黑化 (顯性)
	基因型: X^wX^w	表現型: 白化 (隱性)

則有六種可能如下:

- | | |
|---|-------------------|
| (1) $XY \times XX \rightarrow XX, XY$ | (白化隱性雌蝶的機率為: 0/4) |
| (2) $XY \times X^wX \rightarrow X^wX, XX, X^wY, XY$ | (白化隱性雌蝶的機率為: 1/2) |
| (3) $XY \times X^wX^w \rightarrow X^wX, X^wY$ | (白化隱性雌蝶的機率為: 1/1) |
| (4) $X^wY \times XX \rightarrow X^wX, XY$ | (白化隱性雌蝶的機率為: 0/4) |
| (5) $X^wY \times X^wX \rightarrow X^wX^w, X^wX, X^wY, XY$ | (白化隱性雌蝶的機率為: 1/2) |
| (6) $X^wY \times X^wX^w \rightarrow X^wX^w, X^wY$ | (白化隱性雌蝶的機率為: 1/1) |

假設 1-2:

黑化隱性基因在 X 上，代號 X^b 。

♀	基因型: XY	表現型: 白化 (顯性)
	基因型: X^bY	表現型: 黑化 (隱性)
♂	基因型: XX	表現型: 白化 (顯性)
	基因型: X^bX	表現型: 白化 (顯性)
	基因型: X^bX^b	表現型: 黑化 (隱性)

則有六種可能如下:

- | | |
|---|-------------------|
| (1) $XY \times XX \rightarrow XX, XY$ | (黑化隱性雌蝶的機率為: 0/4) |
| (2) $XY \times X^bX \rightarrow X^bX, XX, X^bY, XY$ | (黑化隱性雌蝶的機率為: 1/2) |
| (3) $XY \times X^bX^b \rightarrow X^bX, X^bY$ | (黑化隱性雌蝶的機率為: 1/1) |
| (4) $X^bY \times XX \rightarrow X^bX, XY$ | (黑化隱性雌蝶的機率為: 0/4) |
| (5) $X^bY \times X^bX \rightarrow X^bX^b, X^bX, X^bY, XY$ | (黑化隱性雌蝶的機率為: 1/2) |
| (6) $X^bY \times X^bX^b \rightarrow X^bX^b, X^bY$ | (黑化隱性雌蝶的機率為: 1/1) |

假設 1-3:

白化顯性基因在 X 上，代號： X^W 。

♀	基因型： XY	表現型：黑化（隱性）
	基因型： X^WY	表現型：白化（顯性）
♂	基因型： XX	表現型：黑化（隱性）
	基因型： X^WX	表現型：白化（顯性）
	基因型： X^WX^W	表現型：白化（顯性）

則有六種可能如下：

- | | |
|---|------------------|
| (1) $XY \times XX \rightarrow XX, XY$ | (白化顯性雌蝶的機率為：0/4) |
| (2) $XY \times X^WX \rightarrow X^WX, XX, X^WY, XY$ | (白化顯性雌蝶的機率為：1/2) |
| (3) $XY \times X^WX^W \rightarrow X^WX, X^WY$ | (白化顯性雌蝶的機率為：1/1) |
| (4) $X^WY \times XX \rightarrow X^WX, XY$ | (白化顯性雌蝶的機率為：0/4) |
| (5) $X^WY \times X^WX \rightarrow X^WX^W, X^WX, X^WY, XY$ | (白化顯性雌蝶的機率為：1/2) |
| (6) $X^WY \times X^WX^W \rightarrow X^WX^W, X^WY$ | (白化顯性雌蝶的機率為：1/1) |

假設 1-4:

黑化顯性基因在 X 上，代號： X^B 。

♀	基因型： XY	表現型：白化（隱性）
	基因型： X^BY	表現型：黑化（顯性）
♂	基因型： XX	表現型：白化（隱性）
	基因型： X^BX	表現型：黑化（顯性）
	基因型： X^BX^B	表現型：黑化（顯性）

則有六種可能如下：

- | | |
|---|------------------|
| (1) $XY \times XX \rightarrow XX, XY$ | (黑化顯性雌蝶的機率為：0/4) |
| (2) $XY \times X^BX \rightarrow X^BX, XX, X^BY, XY$ | (黑化顯性雌蝶的機率為：1/2) |
| (3) $XY \times X^BX^B \rightarrow X^BX, X^BY$ | (黑化顯性雌蝶的機率為：1/1) |
| (4) $X^BY \times XX \rightarrow X^BX, XY$ | (黑化顯性雌蝶的機率為：0/4) |
| (5) $X^BY \times X^BX \rightarrow X^BX^B, X^BX, X^BY, XY$ | (黑化顯性雌蝶的機率為：1/2) |
| (6) $X^BY \times X^BX^B \rightarrow X^BX^B, X^BY$ | (黑化顯性雌蝶的機率為：1/1) |

假設 1-5:

白化隱性基因在 Y 上，代號： Y^w 。

♀	基因型： XY	表現型：黑化（顯性）
	基因型： $X Y^w$	表現型：白化（隱性）

則有二種可能如下：

- | | |
|---|------------------|
| (1) $XY \times XX \rightarrow XX, XY$ | (白化隱性雌蝶的機率為：0/4) |
| (2) $XY^w \times XX \rightarrow XX, XY^w$ | (白化隱性雌蝶的機率為：1/1) |

* 若假設 5 成立，則白化的表現型將會完全由母蝶所控制。

假設 1-6:

黑化隱性基因在 Y 上，代號 Y^b 。

♀	基因型： XY	表現型：白化（顯性）
	基因型： XY^b	表現型：黑化（隱性）

則有二種可能如下:

(1) $XY \times XX \rightarrow XX、XY$ (黑化隱性雌蝶的機率為:0/4)

(2) $XY^b \times XX \rightarrow XX、XY^b$ (黑化隱性雌蝶的機率為:1/1)

*若假設 6 成立，則黑化的表現型將會完全由母蝶所控制。

假設 1-7:

白化顯性基因在 Y 上，代號: Y^W 。

♀	基因型： XY	表現型：黑化（隱性）
	基因型： XY^W	表現型：白化（顯性）

則有二種可能如下:

(1) $XY \times XX \rightarrow XX、XY$ (白化顯性雌蝶的機率為:0/4)

(2) $XY^W \times XX \rightarrow XX、XY^W$ (白化顯性雌蝶的機率為:1/1)

*若假設 7 成立，則白化的表現型將會完全由母蝶所控制。

假設 1-8:

黑化顯性基因在 Y 上，代號 Y^B 。

♀	基因型： XY	表現型：白化（隱性）
	基因型： XY^B	表現型：黑化（顯性）

則有二種可能如下:

(1) $XY \times XX \rightarrow XX、XY$ (黑化顯性雌蝶的機率為:0/4)

(2) $XY^B \times XX \rightarrow XX、XY^B$ (黑化顯性雌蝶的機率為:1/1)

*若假設 8 成立，則黑化的表現型將會完全由母蝶所控制。

2.白化、黑化型（一般孟德爾遺傳的假設）

假設 2-1:

白化為顯性，其基因型為： I 、 i

黑化為隱性，其基因型為： ii

若母蝶為白化（顯性）

則有六種可能如下:

(1) $I \text{♀} \times I \text{♂} \rightarrow I$ (白化顯性雌蝶的機率為:1/1)

(2) $I \text{♀} \times Ii \text{♂} \rightarrow I、i$ (白化顯性雌蝶的機率為:1/1)

(3) $I \text{♀} \times ii \text{♂} \rightarrow Ii$ (白化顯性雌蝶的機率為:1/1)

(4) $Ii \text{♀} \times I \text{♂} \rightarrow I、i$ (白化顯性雌蝶的機率為:1/1)

(5) $Ii \text{♀} \times Ii \text{♂} \rightarrow I、Ii、ii$ (白化顯性雌蝶的機率為:3/4)

(6) $Ii \text{♀} \times ii \text{♂} \rightarrow Ii、ii$ (白化顯性雌蝶的機率為:1/2)

若母蝶為黑化（隱性）

則有三種可能如下：

- (1) $ii \text{♀} \times II \text{♂} \rightarrow Ii$ (白化顯性雌蝶的機率為：1)
- (2) $ii \text{♀} \times Ii \text{♂} \rightarrow Ii、ii$ (白化顯性雌蝶的機率為：1/2)
- (3) $ii \text{♀} \times ii \text{♂} \rightarrow ii$ (白化顯性雌蝶的機率為：0)

假設 2-2:

白化為隱性，其基因型為： ii

黑化為顯性，其基因型為： $II、Ii$

若母蝶為白化（隱性）

則有三種可能如下：

- (1) $ii \text{♀} \times II \text{♂} \rightarrow Ii$ (白化隱性雌蝶的機率為：0)
- (2) $ii \text{♀} \times Ii \text{♂} \rightarrow Ii、ii$ (白化隱性雌蝶的機率為：1/2)
- (3) $ii \text{♀} \times ii \text{♂} \rightarrow ii$ (白化隱性雌蝶的機率為：1/1)

若母蝶為黑化（顯性）

則有六種可能如下：

- (1) $II \text{♀} \times II \text{♂} \rightarrow II$ (白化隱性雌蝶的機率為：0)
- (2) $II \text{♀} \times Ii \text{♂} \rightarrow II、Ii$ (白化隱性雌蝶的機率為：0)
- (3) $II \text{♀} \times ii \text{♂} \rightarrow Ii$ (白化隱性雌蝶的機率為：0)
- (4) $Ii \text{♀} \times II \text{♂} \rightarrow II、Ii$ (白化隱性雌蝶的機率為：0)
- (5) $Ii \text{♀} \times Ii \text{♂} \rightarrow II、Ii、ii$ (白化隱性雌蝶的機率為：1/4)
- (6) $Ii \text{♀} \times ii \text{♂} \rightarrow Ii、ii$ (白化隱性雌蝶的機率為：1/2)

3.有尾、無尾型（性聯遺傳的假設）

假設 3-1:

有尾隱性基因在 X 上，代號： X^t 。

♀	基因型： XY	表現型：無尾（顯性）
	基因型： X^tY	表現型：有尾（隱性）
♂	基因型： XX	表現型：無尾（顯性）
	基因型： X^tX	表現型：無尾（顯性）
	基因型： X^tX^t	表現型：有尾（隱性）

則有六種可能如下：

- (1) $XY \times XX \rightarrow XX、XY$ (有尾隱性雌蝶的機率為：0/4)
- (2) $XY \times X^tX \rightarrow X^tX、XX、X^tY、XY$ (有尾隱性雌蝶的機率為：1/2)
- (3) $XY \times X^tX^t \rightarrow X^tX、X^tY$ (有尾隱性雌蝶的機率為：1/1)
- (4) $X^tY \times XX \rightarrow X^tX、XY$ (有尾隱性雌蝶的機率為：0/4)
- (5) $X^tY \times X^tX \rightarrow X^tX^t、X^tX、X^tY、XY$ (有尾隱性雌蝶的機率為：1/2)
- (6) $X^tY \times X^tX^t \rightarrow X^tX^t、X^tY$ (有尾隱性雌蝶的機率為：1/1)

假設 3-2:

無尾隱性基因在 X 上，代號 X^n 。

♀	基因型： XY	表現型：有尾（顯性）
	基因型： X^nY	表現型：無尾（隱性）
♂	基因型： XX	表現型：有尾（顯性）
	基因型： X^nX	表現型：有尾（顯性）
	基因型： X^nX^n	表現型：無尾（隱性）

則有六種可能如下:

- | | |
|---|------------------|
| (1) $XY \times XX \rightarrow XX, XY$ | (無尾隱性雌蝶的機率為：0/4) |
| (2) $XY \times X^nX \rightarrow X^nX, XX, X^nY, XY$ | (無尾隱性雌蝶的機率為：1/2) |
| (3) $XY \times X^nX^n \rightarrow X^nX, X^nY$ | (無尾隱性雌蝶的機率為：1/1) |
| (4) $X^nY \times XX \rightarrow X^nX, XY$ | (無尾隱性雌蝶的機率為：0/4) |
| (5) $X^nY \times X^nX \rightarrow X^nX^n, X^nX, X^nY, XY$ | (無尾隱性雌蝶的機率為：1/2) |
| (6) $X^nY \times X^nX^n \rightarrow X^nX^n, X^nY$ | (無尾隱性雌蝶的機率為：1/1) |

假設 3-3:

有尾顯性基因在 X 上，代號： X^T 。

♀	基因型： XY	表現型：無尾（隱性）
	基因型： X^TY	表現型：有尾（顯性）
♂	基因型： XX	表現型：無尾（隱性）
	基因型： X^TX	表現型：有尾（顯性）
	基因型： X^TX^T	表現型：有尾（顯性）

則有六種可能如下:

- | | |
|---|------------------|
| (1) $XY \times XX \rightarrow XX, XY$ | (有尾顯性雌蝶的機率為：0/4) |
| (2) $XY \times X^TX \rightarrow X^TX, XX, X^TY, XY$ | (有尾顯性雌蝶的機率為：1/2) |
| (3) $XY \times X^TX^T \rightarrow X^TX, X^TY$ | (有尾顯性雌蝶的機率為：1/1) |
| (4) $X^TY \times XX \rightarrow X^TX, XY$ | (有尾顯性雌蝶的機率為：0/4) |
| (5) $X^TY \times X^TX \rightarrow X^TX^T, X^TX, X^TY, XY$ | (有尾顯性雌蝶的機率為：1/2) |
| (6) $X^TY \times X^TX^T \rightarrow X^TX^T, X^TY$ | (有尾顯性雌蝶的機率為：1/1) |

假設 3-4:

無尾顯性基因在 X 上，代號 X^N 。

♀	基因型： XY	表現型：有尾（隱性）
	基因型： $X^N Y$	表現型：無尾（顯性）
♂	基因型： XX	表現型：有尾（隱性）
	基因型： $X^N X$	表現型：無尾（顯性）
	基因型： $X^N X^N$	表現型：無尾（顯性）

則有六種可能如下:

- | | |
|--|-------------------|
| (1) $XY \times XX \rightarrow XX, XY$ | (無尾顯性雌蝶的機率為: 0/4) |
| (2) $XY \times X^N X \rightarrow X^N X, XX, X^N Y, XY$ | (無尾顯性雌蝶的機率為: 1/2) |
| (3) $XY \times X^N X^N \rightarrow X^N X, X^N Y$ | (無尾顯性雌蝶的機率為: 1/1) |
| (4) $X^N Y \times XX \rightarrow X^N X, XY$ | (無尾顯性雌蝶的機率為: 0/4) |
| (5) $X^N Y \times X^N X \rightarrow X^N X^N, X^N X, X^N Y, XY$ | (無尾顯性雌蝶的機率為: 1/2) |
| (6) $X^N Y \times X^N X^N \rightarrow X^N X^N, X^N Y$ | (無尾顯性雌蝶的機率為: 1/1) |

假設 3-5:

有尾隱性基因在 Y 上，代號: Y^t 。

♀	基因型： XY	表現型：無尾（顯性）
	基因型： $X Y^t$	表現型：有尾（隱性）

則有二種可能如下:

- | | |
|---|-------------------|
| (1) $XY \times XX \rightarrow XX, XY$ | (有尾隱性雌蝶的機率為: 0/4) |
| (2) $XY^t \times XX \rightarrow XX, XY^t$ | (有尾隱性雌蝶的機率為: 1/1) |

* 若假設 5 成立，則有尾的表現型將會完全由母蝶所控制。

假設 3-6:

無尾隱性基因在 Y 上，代號 Y^n 。

♀	基因型： XY	表現型：有尾（顯性）
	基因型： XY^b	表現型：無尾（隱性）

則有二種可能如下:

- | | |
|---|-------------------|
| (1) $XY \times XX \rightarrow XX, XY$ | (無尾隱性雌蝶的機率為: 0/4) |
| (2) $XY^n \times XX \rightarrow XX, XY^n$ | (無尾隱性雌蝶的機率為: 1/1) |

* 若假設 6 成立，則無尾的表現型將會完全由母蝶所控制。

假設 3-7:

有尾顯性基因在 Y 上，代號:Y^T。

♀	基因型：XY	表現型：無尾（隱性）
	基因型：X Y ^T	表現型：有尾（顯性）

則有二種可能如下:

(1) XY × XX → XX、XY (有尾顯性雌蝶的機率為：0/4)

(2) XY^T × XX → XX、XY^T (有尾顯性雌蝶的機率為：1/1)

*若假設 7 成立，則有尾的表現型將會完全由母蝶所控制。

假設 3-8:

無尾顯性基因在 Y 上，代號 Y^N。

♀	基因型：XY	表現型：有尾（隱性）
	基因型：XY ^N	表現型：無尾（顯性）

則有二種可能如下:

(1) XY × XX → XX、XY (無尾顯性雌蝶的機率為：0/4)

(2) XY^N × XX → XX、XY^N (無尾顯性雌蝶的機率為：1/1)

*若假設 8 成立，則無尾的表現型將會完全由母蝶所控制。

4.有尾、無尾型（一般孟德爾遺傳的假設）

假設 4-1:

有尾為顯性，其基因型為：AA、Aa

無尾為隱性，其基因型為：aa

若母蝶為有尾（顯性）

則有六種可能如下:

- | | |
|----------------------------|------------------|
| (1) AA ♀ × AA ♂ → AA | (有尾顯性雌蝶的機率為：1/1) |
| (2) AA ♀ × Aa ♂ → AA、Aa | (有尾顯性雌蝶的機率為：1/1) |
| (3) AA ♀ × aa ♂ → Aa | (有尾顯性雌蝶的機率為：1/1) |
| (4) Aa ♀ × AA ♂ → AA、Aa | (有尾顯性雌蝶的機率為：1/1) |
| (5) Aa ♀ × Aa ♂ → AA、Aa、aa | (有尾顯性雌蝶的機率為：3/4) |
| (6) Aa ♀ × aa ♂ → Aa、aa | (有尾顯性雌蝶的機率為：1/2) |

若母蝶為無尾（隱性）

則有三種可能如下:

- | | |
|-------------------------|------------------|
| (1) aa ♀ × AA ♂ → Aa | (有尾顯性雌蝶的機率為：1) |
| (2) aa ♀ × Aa ♂ → Aa、aa | (有尾顯性雌蝶的機率為：1/2) |
| (3) aa ♀ × aa ♂ → aa | (有尾顯性雌蝶的機率為：0) |

假設 4-2:

有尾為隱性，其基因型為：aa

無尾為顯性，其基因型為：AA、Aa

若母蝶為有尾（隱性）

則有三種可能如下:

- | | |
|-------------------------|------------------|
| (1) aa ♀ × AA ♂ → Aa | (有尾隱性雌蝶的機率為：0) |
| (2) aa ♀ × Aa ♂ → Aa、aa | (有尾隱性雌蝶的機率為：1/2) |
| (3) aa ♀ × aa ♂ → aa | (有尾隱性雌蝶的機率為：1/1) |

若母蝶為無尾（顯性）

則有六種可能如下:

- | | |
|----------------------------|------------------|
| (1) AA ♀ × AA ♂ → AA | (有尾隱性雌蝶的機率為：0) |
| (2) AA ♀ × Aa ♂ → AA、Aa | (有尾隱性雌蝶的機率為：0) |
| (3) AA ♀ × aa ♂ → Aa | (有尾隱性雌蝶的機率為：0) |
| (4) Aa ♀ × AA ♂ → AA、Aa | (有尾隱性雌蝶的機率為：0) |
| (5) Aa ♀ × Aa ♂ → AA、Aa、aa | (有尾隱性雌蝶的機率為：1/4) |
| (6) Aa ♀ × aa ♂ → Aa、aa | (有尾隱性雌蝶的機率為：1/2) |

(二) 以下的實驗利用 2 ♀ (不同型態) × 1 ♂ (模式 2) 的雜交實驗，利用此實驗方式來確定那一個性狀由顯性的基因控制：

※在以一般孟德爾遺傳模式假設中的符號說明：

符號 (有、無尾)	符號的代表意義	符號 (黑、白化)	符號的代表意義
AA	代表顯性的基因型	II	代表顯性的基因型
Aa	代表顯性的基因型	Ii	代表顯性的基因型
aa	代表隱性的基因型	ii	代表隱性的基因型
♂	代表親代的雄蝶	♂	代表親代的雄蝶
♀	代表親代的雌蝶	♀	代表親代的雌蝶
×	代表交配	×	代表交配
→	所產生的子代	→	所產生的子代

5. 有尾、無尾型 (一般孟德爾遺傳)：

假設 5-1:

有尾為顯性，其基因型為：AA、Aa

無尾為隱性，其基因型為：aa

若母蝶為有尾 (顯性)

若母蝶為無尾 (隱性)

則有三種可能如下：

(5-1-1)

AA ♂	AA、Aa ♀ → AA、Aa	(有尾顯性母蝶的機率為：1)
	aa ♀ → Aa	(有尾顯性母蝶的機率為：1)

(5-1-2)

Aa ♂	AA、Aa ♀ → AA、Aa、aa	(有尾顯性母蝶的機率為：3/4)
	aa ♀ → Aa、aa	(有尾顯性母蝶的機率為：1/2)

(5-1-3)

aa ♂	AA、Aa ♀ → Aa、aa	(有尾顯性母蝶的機率為：1/2)
	aa ♀ → aa	(有尾顯性母蝶的機率為：0/1)

假設 5-2:

有尾為隱性，其基因型為：aa

無尾為顯性，其基因型為：AA、Aa

若母蝶為有尾 (隱性)

若母蝶為無尾 (顯性)

則有三種可能如下：

(5-2-1)

AA ♂	AA、Aa ♀ → AA、Aa	(有尾隱性母蝶的機率為：0)
	aa ♀ → Aa	(有尾隱性母蝶的機率為：0)

(5-2-2)

Aa ♂	AA、Aa ♀ → AA、Aa、aa	(有尾隱性母蝶的機率為：1/4)
	aa ♀ → Aa、aa	(有尾隱性母蝶的機率為：1/2)

(5-2-3)

aa ♂	AA、Aa ♀ → Aa、aa	(有尾隱性母蝶的機率為：1/2)
	aa ♀ → aa	(有尾隱性母蝶的機率為：1)

6.黑化、白化型（一般孟德爾遺傳）

假設 6-1:

白化為顯性，其基因型為：II、Ii

黑化為隱性，其基因型為：ii

若母蝶為白化（顯性）

若母蝶為黑化（隱性）

則有三種可能如下:

(6-1-1)

II ♂	II、Ii ♀ → II、Ii	(白化顯性母蝶的機率為：1/1)
	ii ♀ → Ii	(白化顯性母蝶的機率為：1/1)

(6-1-2)

Ii ♂	II、Ii ♀ → II、Ii、ii	(白化顯性母蝶的機率為：3/4)
	ii ♀ → Ii、ii	(白化顯性母蝶的機率為：1/2)

(6-1-3)

ii ♂	II、Ii ♀ → Ii、ii	(白化顯性母蝶的機率為：1/2)
	ii ♀ → ii	(白化顯性母蝶的機率為：0/1)

假設 6-2:

白化為隱性，其基因型為：ii

黑化為顯性，其基因型為：II、Ii

若母蝶為白化（隱性）

若母蝶為黑化（顯性）

則有三種可能如下:

(6-2-1)

II ♂	II、Ii ♀ → II、Ii	(白化隱性母蝶的機率為：1/1)
	ii ♀ → Ii	(白化隱性母蝶的機率為：1/1)

(6-2-2)

Ii ♂	II、Ii ♀ → II、Ii、ii	(白化隱性母蝶的機率為：1/4)
	ii ♀ → Ii、ii	(白化隱性母蝶的機率為：1/2)

(6-2-3)

ii ♂	II、Ii ♀ → Ii、ii	(白化隱性母蝶的機率為：1/2)
	ii ♀ → ii	(白化隱性母蝶的機率為：1/1)

※在以性聯遺傳作用假設中的符號說明：

符號（有、無尾）	符號的代表意義	符號（黑、白化）	符號的代表意義
XY 、 X^tY 、 X^nY 、 X^TY 、 X^NY	雌蝶顯、隱性的基因型在 X 上	XY 、 X^wY 、 X^bY 、 X^WY 、 X^BY	雌蝶顯、隱性的基因型在 X 上
XY 、 XY^t 、 XY^n 、 XY^T 、 XY^N	雌蝶顯、隱性的基因型在 Y 上	XY 、 XY^w 、 XY^b 、 XY^W 、 XY^B	雌蝶顯、隱性的基因型在 Y 上
XX 、 X^tX 、 X^tX^t 、 X^nX 、 X^nX^n 、 X^TX 、 X^TX^T 、 X^NX 、 X^NX^N	雄蝶顯、隱性的基因型在 X 上	XX 、 XX 、 X^wX^w 、 X^bX 、 X^bX^b 、 X^WX 、 X^WX^W 、 X^BX 、 X^BX^B	雄蝶顯、隱性的基因型在 X 上
♂	代表親代的雄蝶	♂	代表親代的雄蝶
♀	代表親代的雌蝶	♀	代表親代的雌蝶
×	代表交配	×	代表交配
→	所產生的子代	→	所產生的子代

7.有尾、無尾的性聯遺傳

假設 7-1:

有尾隱性基因在 X 上，代號： X^t 。

♀	基因型： XY	表現型：無尾（顯性）
	基因型： X^tY	表現型：有尾（隱性）
♂	基因型： XX	表現型：無尾（顯性）
	基因型： X^tX	表現型：無尾（顯性）
	基因型： X^tX^t	表現型：有尾（隱性）

則有三種可能如下：

(7-1-1)

XX ♂	XY ♀ → XX 、 XY	（有尾隱性母蝶的機率為：0/1）
	X^tY ♀ → X^tX 、 XY	（有尾隱性母蝶的機率為：0/1）

(7-2-2)

X^tX ♂	XY ♀ → XX 、 X^tX 、 X^tY 、 XY	（有尾隱性母蝶的機率為：1/2）
	X^tY ♀ → X^tX^t 、 X^tX 、 XY 、 X^tY	（有尾隱性母蝶的機率為：1/2）

(7-3-3)

X^tX^t ♂	XY ♀ → X^tX 、 X^tY	（有尾隱性母蝶的機率為：1/1）
	X^tY ♀ → X^tX^t 、 X^tY	（有尾隱性母蝶的機率為：1/1）

假設 7-2:

無尾隱性基因在 X 上，代號 X^n 。

♀	基因型： XY	表現型：有尾（顯性）
	基因型： X^nY	表現型：無尾（隱性）
♂	基因型： XX	表現型：有尾（顯性）
	基因型： X^nX	表現型：有尾（顯性）
	基因型： X^nX^n	表現型：無尾（隱性）

則有三種可能如下:

(7-2-1)

$XX \uparrow$	$XY \uparrow \rightarrow XX、XY$	(無尾隱性母蝶的機率為:0/1)
	$X^nY \uparrow \rightarrow X^nX、XY$	(無尾隱性母蝶的機率為:0/1)

(7-2-2)

$X^nX \uparrow$	$XY \uparrow \rightarrow XX、X^nX、X^nY、XY$	(無尾隱性母蝶的機率為:1/2)
	$X^nY \uparrow \rightarrow X^nX^n、X^nX、XY、X^nY$	(無尾隱性母蝶的機率為:1/2)

(7-2-3)

$X^nX^n \uparrow$	$XY \uparrow \rightarrow X^nX、X^nY$	(無尾隱性母蝶的機率為:1/1)
	$X^nY \uparrow \rightarrow X^nX^n、X^nY$	(無尾隱性母蝶的機率為:1/1)

假設 7-3:

有尾顯性基因在 X 上，代號: X^T 。

♀	基因型： XY	表現型：無尾（隱性）
	基因型： X^TY	表現型：有尾（顯性）
♂	基因型： XX	表現型：無尾（隱性）
	基因型： X^TX	表現型：有尾（顯性）
	基因型： X^TX^T	表現型：有尾（顯性）

則有三種可能如下:

(7-3-1)

$XX \uparrow$	$XY \uparrow \rightarrow XX、XY$	(有尾顯性母蝶的機率為:0/1)
	$X^TY \uparrow \rightarrow X^TX、XY$	(有尾顯性母蝶的機率為:0/1)

(7-3-2)

$X^TX \uparrow$	$XY \uparrow \rightarrow XX、X^TX、X^TY、XY$	(有尾顯性母蝶的機率為:1/2)
	$X^TY \uparrow \rightarrow X^TX^T、X^TX、XY、X^TY$	(有尾顯性母蝶的機率為:1/2)

(7-3-3)

$X^TX^T \uparrow$	$XY \uparrow \rightarrow X^TX、X^TY$	(有尾顯性母蝶的機率為:1/1)
	$X^TY \uparrow \rightarrow X^TX^T、X^TY$	(有尾顯性母蝶的機率為:1/1)

假設 7-4:

無尾顯性基因在 X 上，代號 X^N 。

♀	基因型： XY	表現型：有尾（隱性）
	基因型： $X^N Y$	表現型：無尾（顯性）
♂	基因型： XX	表現型：有尾（隱性）
	基因型： $X^N X$	表現型：無尾（顯性）
	基因型： $X^N X^N$	表現型：無尾（顯性）

則有三種可能如下:

(7-4-1)

$XX \uparrow$	$XY \text{♀} \rightarrow XX, XY$	(無尾顯性母蝶的機率為:0/1)
	$X^N Y \text{♀} \rightarrow X^N X, XY$	(無尾顯性母蝶的機率為:0/1)

(7-4-2)

$X^N X \uparrow$	$XY \text{♀} \rightarrow XX, X^N X, X^N Y, XY$	(無尾顯性母蝶的機率為:1/2)
	$X^N Y \text{♀} \rightarrow X^N X^N, X^N X, XY, X^N Y$	(無尾顯性母蝶的機率為:1/2)

(7-4-3)

$X^N X^N \uparrow$	$XY \text{♀} \rightarrow X^N X, X^N Y$	(無尾顯性母蝶的機率為:1/1)
	$X^N Y \text{♀} \rightarrow X^N X^N, X^N Y$	(無尾顯性母蝶的機率為:1/1)

假設 7-5:

有尾隱性基因在 Y 上，代號: Y^t 。

♀	基因型： XY	表現型：無尾（顯性）
	基因型： $X Y^t$	表現型：有尾（隱性）

則有一種可能如下:

(7-5-1)

$XX \uparrow$	$XY \text{♀} \rightarrow XX, XY$	(有尾隱性母蝶的機率為:0/1)
	$X Y^t \text{♀} \rightarrow XX, X Y^t$	(有尾隱性母蝶的機率為:1/1)

* 若假設 5 成立，則有尾的表現型將會完全由母蝶所控制。

假設 7-6:

無尾隱性基因在 Y 上，代號 Y^b 。

♀	基因型： XY	表現型：有尾（顯性）
	基因型： XY^b	表現型：無尾（隱性）

則有一種可能如下:

(7-6-1)

$XX \uparrow$	$XY \text{♀} \rightarrow XX, XY$	(無尾隱性母蝶的機率為:0/1)
	$XY^b \text{♀} \rightarrow XX, XY^b$	(無尾隱性母蝶的機率為:1/1)

* 若假設 6 成立，則無尾的表現型將會完全由母蝶所控制。

假設 7-7:

有尾顯性基因在 Y 上，代號:Y^T。

♀	基因型：XY	表現型：無尾（隱性）
	基因型：X Y ^T	表現型：有尾（顯性）

則有一種可能如下:

(7-7-1)

XX ♂	XY ♀ → XX、XY	(有尾顯性母蝶的機率為:0/1)
	X Y ^T ♀ → XX、X Y ^T	(有尾顯性母蝶的機率為:1/1)

* 若假設 7 成立，則有尾的表現型將會完全由母蝶所控制。

假設 7-8:

無尾顯性基因在 Y 上，代號 Y^N。

♀	基因型：XY	表現型：有尾（隱性）
	基因型：XY ^N	表現型：無尾（顯性）

則有一種可能如下:

(7-8-1)

XX ♂	XY ♀ → XX、XY	(無尾顯性母蝶的機率為:0/1)
	XY ^N ♀ → XX、XY ^N	(無尾顯性母蝶的機率為:1/1)

* 若假設 8 成立，則無尾的表現型將會完全由母蝶所控制。

8. 假設黑化、白化的性聯遺傳

假設 8-1:

白化隱性基因在 X 上，代號： X^w 。

♀	基因型： XY	表現型：黑化（顯性）
	基因型： X^wY	表現型：白化（隱性）
♂	基因型： XX	表現型：黑化（顯性）
	基因型： X^wX	表現型：黑化（顯性）
	基因型： X^wX^w	表現型：白化（隱性）

則有三種可能如下：

(8-1-1)

$XX \uparrow$	$XY \text{ ♀} \rightarrow XX, XY$	（白化隱性母蝶的機率為：0/1）
	$X^wY \text{ ♀} \rightarrow X^wX, XY$	（白化隱性母蝶的機率為：0/1）

(8-1-2)

$X^wX \uparrow$	$XY \text{ ♀} \rightarrow XX, X^wX, X^wY, XY$	（白化隱性母蝶的機率為：1/2）
	$X^wY \text{ ♀} \rightarrow X^wX^w, X^wX, XY, X^wY$	（白化隱性母蝶的機率為：1/2）

(8-1-3)

$X^wX^w \uparrow$	$XY \text{ ♀} \rightarrow X^wX, X^wY$	（白化隱性母蝶的機率為：1/1）
	$X^wY \text{ ♀} \rightarrow X^wX^w, X^wY$	（白化隱性母蝶的機率為：1/1）

假設 8-2:

黑化隱性基因在 X 上，代號： X^b 。

♀	基因型： XY	表現型：白化（顯性）
	基因型： X^bY	表現型：黑化（隱性）
♂	基因型： XX	表現型：白化（顯性）
	基因型： X^bX	表現型：白化（顯性）
	基因型： X^bX^b	表現型：黑化（隱性）

則有三種可能如下：

(8-2-1)

$XX \uparrow$	$XY \text{ ♀} \rightarrow XX, XY$	（黑化隱性母蝶的機率為：0/1）
	$X^bY \text{ ♀} \rightarrow X^bX, XY$	（黑化隱性母蝶的機率為：0/1）

(8-2-2)

$X^bX \uparrow$	$XY \text{ ♀} \rightarrow XX, X^bX, X^bY, XY$	（黑化隱性母蝶的機率為：1/2）
	$X^bY \text{ ♀} \rightarrow X^bX^b, X^bX, XY, X^bY$	（黑化隱性母蝶的機率為：1/2）

(8-2-3)

$X^bX^b \uparrow$	$XY \text{ ♀} \rightarrow X^bX, X^bY$	（黑化隱性母蝶的機率為：1/1）
	$X^bY \text{ ♀} \rightarrow X^bX^b, X^bY$	（黑化隱性母蝶的機率為：1/1）

假設 8-3:

白化顯性基因在 X 上，代號： X^W 。

♀	基因型： XY	表現型：黑化（隱性）
	基因型： X^WY	表現型：白化（顯性）
♂	基因型： XX	表現型：黑化（隱性）
	基因型： X^WX	表現型：白化（顯性）
	基因型： X^WX^W	表現型：白化（顯性）

則有三種可能如下：

(8-3-1)

$XX \uparrow$	$XY \text{♀} \rightarrow XX, XY$	（白化顯性母蝶的機率為：0/1）
	$X^WY \text{♀} \rightarrow X^WX, XY$	（白化顯性母蝶的機率為：0/1）

(8-3-2)

$X^WX \uparrow$	$XY \text{♀} \rightarrow XX, X^WX, X^WY, XY$	（白化顯性母蝶的機率為：1/2）
	$X^WY \text{♀} \rightarrow X^WX^W, X^WX, XY, X^WY$	（白化顯性母蝶的機率為：1/2）

(8-3-3)

$X^WX^W \uparrow$	$XY \text{♀} \rightarrow X^WX, X^WY$	（白化顯性母蝶的機率為：1/1）
	$X^WY \text{♀} \rightarrow X^WX^W, X^WY$	（白化顯性母蝶的機率為：1/1）

假設 8-4:

黑化顯性基因在 X 上，代號： X^B 。

♀	基因型： XY	表現型：白化（隱性）
	基因型： X^BY	表現型：黑化（顯性）
♂	基因型： XX	表現型：白化（隱性）
	基因型： X^BX	表現型：黑化（顯性）
	基因型： X^BX^B	表現型：黑化（顯性）

則有三種可能如下：

(8-4-1)

$XX \uparrow$	$XY \text{♀} \rightarrow XX, XY$	（黑化顯性母蝶的機率為：0/1）
	$X^BY \text{♀} \rightarrow X^BX, XY$	（黑化顯性母蝶的機率為：0/1）

(8-4-2)

$X^BX \uparrow$	$XY \text{♀} \rightarrow XX, X^BX, X^BY, XY$	（黑化顯性母蝶的機率為：1/2）
	$X^BY \text{♀} \rightarrow X^BX^B, X^BX, XY, X^BY$	（黑化顯性母蝶的機率為：1/2）

(8-4-3)

$X^WX^W \uparrow$	$XY \text{♀} \rightarrow X^BX, X^BY$	（黑化顯性母蝶的機率為：1/1）
	$X^BY \text{♀} \rightarrow X^BX^B, X^BY$	（黑化顯性母蝶的機率為：1/1）

假設 8-5:

白化隱性基因在 Y 上，代號:Y^w。

♀	基因型：XY	表現型：黑化（顯性）
	基因型：X Y ^w	表現型：白化（隱性）

則有一種可能如下:

(8-5-1)

XX ♂	XY ♀ → XX、XY	(白化隱性母蝶的機率為：0/1)
	XY ^w ♀ → XX、XY ^w	(白化隱性母蝶的機率為：1/1)

* 若假設 5 成立，則白化的表現型將會完全由母蝶所控制。

假設 8-6:

黑化隱性基因在 Y 上，代號 Y^b。

♀	基因型：XY	表現型：白化（顯性）
	基因型：XY ^b	表現型：黑化（隱性）

則有一種可能如下:

(8-6-1)

XX ♂	XY ♀ → XX、XY	(黑化隱性母蝶的機率為：0/1)
	XY ^b ♀ → XX、XY ^b	(黑化隱性母蝶的機率為：1/1)

* 若假設 6 成立，則黑化的表現型將會完全由母蝶所控制。

假設 8-7:

白化顯性基因在 Y 上，代號:Y^w。

♀	基因型：XY	表現型：黑化（隱性）
	基因型：X Y ^w	表現型：白化（顯性）

則有二種可能如下:

(8-7-1)

XX ♂	XY ♀ → XX、XY	(白化顯性母蝶的機率為：0/1)
	X Y ^w ♀ → XX、X Y ^w	(白化顯性母蝶的機率為：1/1)

* 若假設 7 成立，則白化的表現型將會完全由母蝶所控制。

假設 8:

黑化顯性基因在 Y 上，代號 Y^B。

♀	基因型：XY	表現型：白化（隱性）
	基因型：XY ^B	表現型：黑化（顯性）

則有一種可能如下:

(8-8-1)

XX ♂	XY ♀ → XX、XY	(黑化顯性母蝶的機率為：0/1)
	XY ^B ♀ → XX、XY ^B	(黑化顯性母蝶的機率為：1/1)

* 若假設 8 成立，則黑化的表現型將會完全由母蝶所控制。

評語

本作品是一件具有創意，並對生物的形態進行詳盡觀察的作品，作品中針對大鳳蝶的形態與遺傳性狀的表現有詳盡的實驗證明，是生物學上一項良好研究模式的例子，值得鼓勵。