

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生物科

佳作

080302

蝶對蝶－玉帶鳳蝶貝氏擬態與生活史之研究

學校名稱： 國立臺東大學附設實驗國民小學

作者：	指導老師：
小四 簡睿新	王采晴
小四 王禹翔	林以婷
小四 江秉宸	
小四 張亦佐	

關鍵詞： 玉帶鳳蝶、貝氏擬態、SDGs 保育陸域生態

摘要

本研究以玉帶鳳蝶的生活行為為主，透過飼養觀察、文獻探討與實驗設計，探究其生活史、生理特徵與生態行為。結果顯示，二至三齡幼蟲即具備有臭角防禦、吐絲固定等能力，且同一親代中雄蝶較雌蝶先羽化，避免近親交配的機會。在食草方面，二至三齡幼蟲對橘子葉表現出顯著偏好。藉由與其他鳳蝶物種比較外觀，初步建立辨識依據，並以光照法檢查四齡幼蟲是否具有未發育完全的生殖器官(精巢)推測為雄性。研究者同時發現，幼蟲體色受食草葉色影響，呈現偽裝可能性。針對貝氏擬態的捕食實驗尚未得出明確結論，需進一步改良實驗設計。校園復育區的建置成功吸引鳳蝶訪花與產卵，顯示都市亦可成為生態棲地，具教育與保育意義，呼應 SDGs 陸域生態保育的目標。

壹、前言

一、研究動機

在決定研究主題時，發現我們幾個都對昆蟲懷有高度的熱愛，四年級的自然正好也學習到昆蟲的單元；我們會選擇「玉帶鳳蝶」作為研究主題，是因為是受到了山豬老師的啟發，老師為我們介紹了各種蝴蝶與昆蟲的特徵和有趣的野外調查經驗；指導老師也提到梁山伯與祝英台的故事，故事主角最後變成的蝴蝶就是玉帶鳳蝶，使我們產生了濃厚的興趣，促使我們想進一步探究玉帶鳳蝶的生態特性。

透過查閱資料，我們發現玉帶鳳蝶具有「貝氏擬態」這種特別的保護機制，使牠們能夠羽化出模仿有毒的「紅紋鳳蝶」的成蟲以躲避天敵，這種擬態現象令我們感到非常驚奇。因此，我們決定以此為主題進行科展研究，深入探索其擬態原理與生存策略，想了解成蟲出現「貝氏擬態」跟幼蟲期的食草或生活環境是否有關聯。

二、研究目的

- (一) 觀察玉帶鳳蝶的生活史。
- (二) 研究玉帶鳳蝶幼蟲對植物葉片的偏好種類。
- (三) 分析玉帶鳳蝶幼蟲外觀與成蝶型態的關係。
- (四) 研究玉帶鳳蝶幼蟲的體色與食草種類的關係。
- (五) 研究玉帶鳳蝶貝氏擬態是否能降低天敵捕食風險。
- (六) 規劃玉帶鳳蝶校園復育方案。

三、 文獻回顧

關於鳳蝶科蝴蝶的生活史與環境適應之研究，在這幾年的國內學生科展與碩博士論文中已有多項相關研究，為我們的研究提供重要參考。潘祈叡等人（1998）在〈揭開無尾鳳蝶的祕密〉一文中，透過將植物汁液滴在桌面與棉紙上觀察無尾鳳蝶幼蟲行為，發現幼蟲會主動爬向氣味來源並進行啃咬，推論鳳蝶幼蟲主要依賴氣味辨識食草。

巫家豪等人（2005）則針對六種以芸香科植物為食的鳳蝶——包括大鳳蝶、黑鳳蝶、玉帶鳳蝶、柑橘鳳蝶、台灣白紋鳳蝶與烏鴉鳳蝶——進行生活史與鱗片構造比較，並依據鱗片型態製作出分類檢索表，說明形態學特徵在蝴蝶分類上的應用價值。而在幼蟲形態研究方面，譚文皓等人（2004）對七種以柑橘屬植物為主食的鳳蝶幼蟲進行比對，並以臭角、頭部顏色、斑紋與體表突起為依據，製作不同齡期之分類檢索表，提供實用的辨識工具。

另有研究關注鳳蝶幼蟲化蛹行為與環境因素的關聯。譚文皓等人（2003）於〈戀戀鳳蝶——大鳳蝶化蛹之謎〉一文中指出，大鳳蝶幼蟲在尋找化蛹位置時，傾向選擇綠色、遮蔽性高且穩定的環境，其化蛹之顏色亦會受到該處亮度與背景顏色影響，而震動則無顯著影響。

關於環境因子對發育的影響，邱奕霖（2015）探討光週期對淡紋青斑蝶與玉帶鳳蝶之影響，發現玉帶鳳蝶的孵化率在日照 8 至 10 小時間表現最佳，日照 14 小時反而降低至 56%。整體而言，較長日照雖能縮短發育期並增加體型，但對存活率影響不大，顯示該物種較適應中長日照環境。

蕭惠文（2006）對玉帶鳳蝶的系統性研究，其結果指出該物種偏好以芸香科與樟科植物為寄主，尤以過山香為最多。此植物含有精油成分，具有吸引力，可能為其選擇產卵位置之依據。研究亦證實寄主植物的種類會影響幼蟲的生長速度與存活率，並指出玉帶鳳蝶每年可出現六代以上，活動期與溫度有密切關聯。此外，雌蝶具有特定的產卵偏好，顯示其高度生態選擇性。

陳素瓊等人(2000)探討玉帶鳳蝶在 20°C、25°C、30°C 與室溫條件下的發育情形，並以酸桔葉飼養觀察其生長變化。結果顯示，溫度越高發育越快，30°C 下從卵至成蝶平均為 26.5 日，20°C 則需 56.84 日。雖然整體存活率僅 33~34%，但各蟲期存活率皆高於 85%。此研究可作為玉帶鳳蝶飼養之基礎。

綜上所述，上述研究分別從氣味感應、形態辨識、環境因子與化學組成等角度，深入發現鳳蝶類昆蟲在生長過程中與環境之間的互動，我們也吸取前人的經驗，設計出以下的研究架構進行我們研究。

四、研究架構

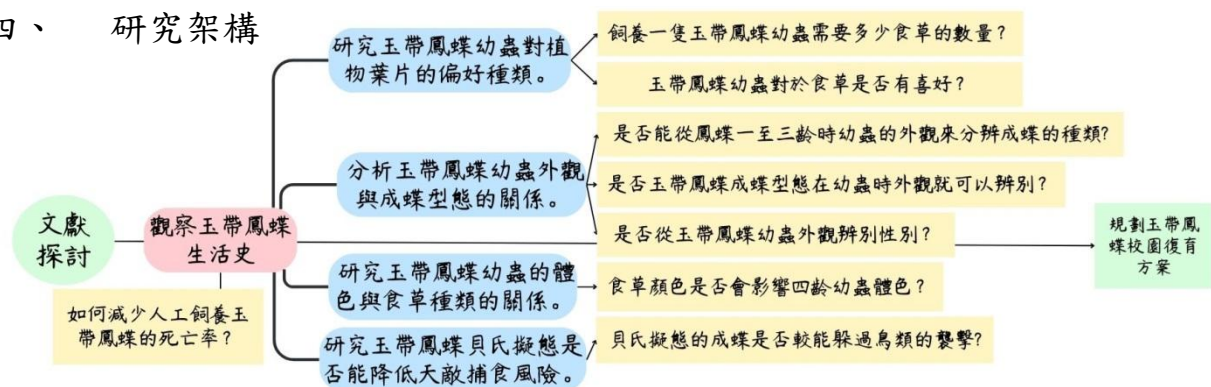







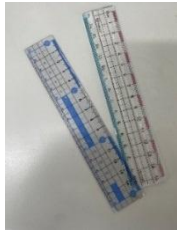








圖 1-1 研究架構（圖片來源：自行繪製）

貳、研究設備及器材

			
蟲飼養盒 23 * 15 * 15 (cm)	昆蟲網箱 80 * 30 * 30 (cm)	盆栽網室 60 * 60 * 90 (cm)	溫濕度計 EDISON EDS-A10
			
食草植物	蜜源植物	平方公格板	尺
			
微距顯微鏡 W05A	兒童顯微鏡相機 兒童 STEAM 探索系列-LJ	相機 SONY ZV-1	小型攝影棚 25 * 25 * 25 (cm)
	手機 APP (Pixur)		果乾機 Frigidaire FKD-3501BC
			(圖片來源：皆為自行拍攝)

參、研究過程或方法

研究一、觀察玉帶鳳蝶的生活史

我們從木生昆蟲博物館取得 22 隻玉帶鳳蝶一齡幼蟲樣本，分裝於昆蟲飼養盒便於觀察。購買四株金桔樹、四盆香水檸檬樹作為食草，種植在 10 吋盆中並置放教室陽台的蝴蝶復育區，每日早晨澆水 100c.c.，每七天以花寶二號稀釋噴施肥一次，以維持食草的新鮮與數量。

本研究變因如下：	
溫度	攝氏 23 至 27 度（當地室溫）
濕度	40-70%（ <u>使用溫濕度計監測</u> ）
光照時間	8-10 小時
飼養環境	飼養盒，放置在室內。
紀錄頻率	每三天記錄一次
紀錄內容	食葉量、外觀（體長、顏色）、排便量、溫濕度

觀察記錄表：

我居住的小区：1号

日期：11-3-11-26

时间：11-51

昆虫名称：螳螂

温度：29.5℃

湿度：64%

饲养量：

观察记录：
图一：展示了螳螂的侧面轮廓，标注了“头”、“胸”、“腹”三个部分。
图二：展示了螳螂的前肢（捕捉足）的特写，标注了“前肢”。

温度：27.0℃

数量：9只

饲养条件：绿色饲料+新鲜蔬菜

其他发现/我的心得：今日观察到此等昆虫在晚上变成了黄色！现在居于这些昆虫不明何物、性、对温度、湿度很敏感而有利于其生长。其叫声为咕呱声或吱吱声。

(圖片來源：自行繪製)

每一次寫觀察記錄我們都遵循以下流程：

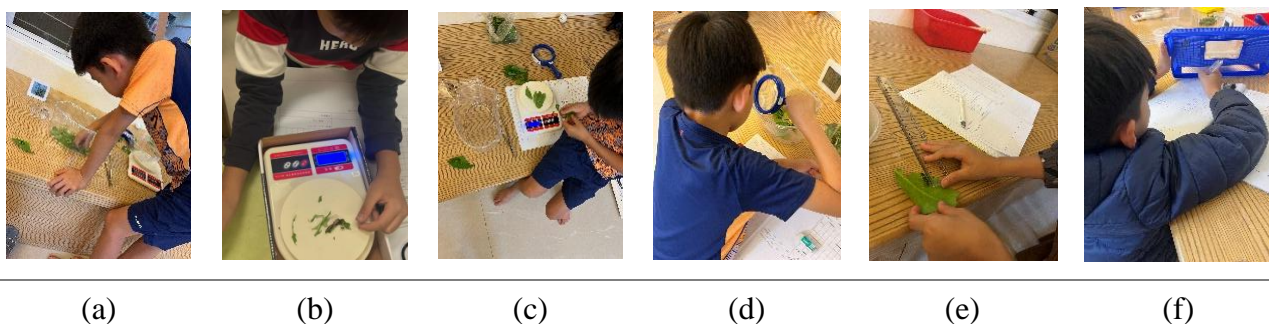


圖 3-1 觀察紀錄流程 (a)清理飼養盒(b)將飼養盒裡的葉子秤重(c)將葉片水份擦乾淨，並將葉子從莖上拔下，秤 7 公克放入。(d)用放大鏡觀察幼蟲外觀（顏色、花紋），以及糞便的多寡。(e)用尺量幼蟲的身長 (f)寫觀察記錄表（圖片來源：自行拍攝）

提出問題一

如何減少人工飼養玉帶鳳蝶的死亡率？

觀察與假設

- 一、將橫式飼養箱更換成直立式飼養箱，因二至四齡幼蟲會有一直攀爬向上的狀況，我們認為需要給幼蟲樹枝(或整個盆栽)，讓他們向上攀爬。
- 二、減少動手觸摸幼蟲，鼻角一直伸出來，減少幼蟲受驚死亡的機率。

- 三、第一輪樣本為計算葉片的食用量，我們將葉片剪下秤重，我們發現葉子很容易乾掉、不新鮮。我們將葉片改由整個枝條插在水瓶內，保持葉片濕潤。
- 四、由於食草的取得不易，我們增加食草的種植，且在購買新的食草盆栽後會先整株清洗約兩週後，確保沒有農藥殘留，才餵食給幼蟲。
- 五、室內飼養雖然溫度較高且溫暖，但根據文獻中發現 20 度可以讓幼蟲長的更好存活率更高，所以我們將飼養箱擺放在通風的戶外空間。

動手實驗

- 一、更換開口較高的飼養箱。
- 二、將飼養箱擺放置教室窗口，並給予盆栽直接飼養、或用枝條插入水瓶內保持食草新鮮。

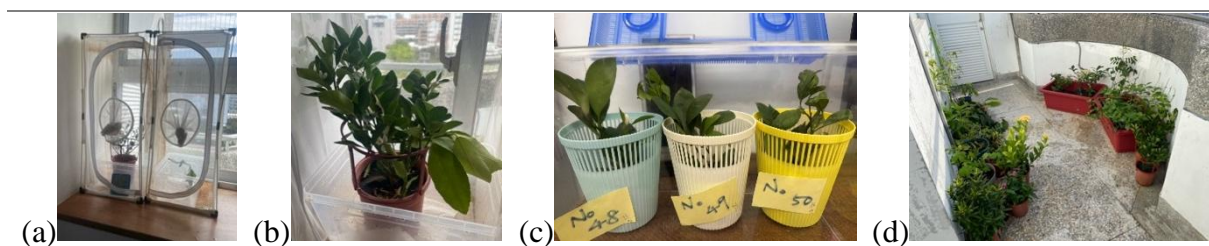


圖 3-2 (a)兩面網子設計、長寬高分別為 80cm、30cm、30cm； (b)小型金桔盆栽；

(c)枝條插入水瓶； (d)食草種植(檸檬、金桔)。

(圖片來源：自行拍攝)

研究二、研究玉帶鳳蝶幼蟲對植物葉片的偏好種類

提出問題一

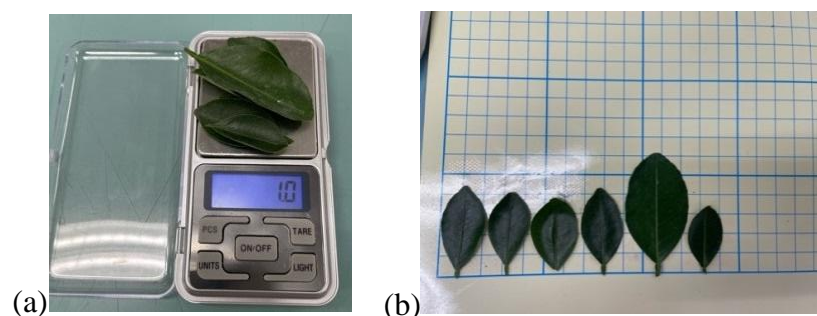
飼養一隻玉帶鳳蝶幼蟲需要多少食草的數量？

動手實驗

- 一、透過飼養與紀錄玉帶鳳蝶形態特徵紀錄，我們計算 22 隻幼蟲到化蛹前每天進食約 1 公克的葉片，從出生到化蛹約需要 25-28 公克的葉片量。我們得到的數據如下：

→公式：吃掉的葉片總量 ÷ 樣本個體化蛹前的生存天數 = 每天平均食葉量

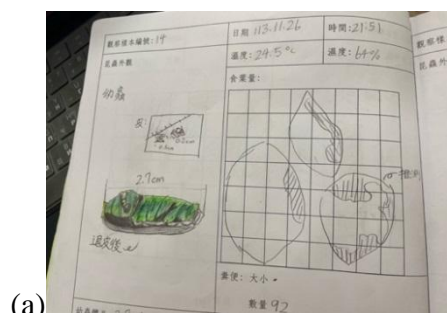
我們用電子秤秤出 1 公克的葉片量。



◀圖 3-3 (a)使用電子秤秤出 1 公克的葉子量。(b)用平方公格板計算一天 1 公克的葉子量約 30 平方公分。

(圖片來源：自行拍攝)

我們隨後在與老師討論後，發現未留意葉片中可能含有水分，所以我們調整研究設計在往後的觀察記錄中記錄下幼蟲吃食草的面積。



◀圖 3-4 (a)(b)記錄表中，我們會在餵食前先將摘下的葉片輪廓畫下來，再下次紀錄時畫出被啃食的面積。
(圖片來源：自行拍攝)

提出問題二

玉帶鳳蝶幼蟲對於食草是否有喜好？

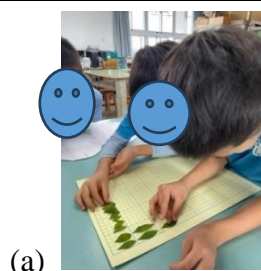
動手實驗

本次實驗研究變因如下：

操控變因	植物葉片種類：柚子葉(東河文旦)、橘子葉(關山晚崙西亞)、飛龍掌血和過山香。
應變變因	幼蟲對不同葉片的選擇和食用程度。
控制變因	葉片大小、葉片新鮮度、幼蟲的大小和數量、實驗環境的光照、溫度和濕度。

研究步驟：

- 一、準備植物：選擇柚子葉、橘子葉、飛龍掌血和過山香的葉子，並在測量葉子的面積，確保每一次都不會有大於1平方公分的誤差。



◀圖 3-5 (a)利用平方公格板計算葉子的面積。(b)平均分配到每片實驗記錄表上。
(圖片來源：自行拍攝)

- 二、實驗時間：三十分鐘。

- 三、樣本數：30（將其分成六組，每組5隻二至三齡幼蟲）。

研究三、分析玉帶鳳蝶幼蟲外觀與成蝶型態的關係。

提出問題一

是否能從鳳蝶一至三齡時幼蟲的外觀來分辨成蝶的種類？

動手實驗





在取得無尾鳳蝶、大鳳蝶與臺灣鳳蝶的幼蟲後，我們以肉眼及顯微照相機觀察其外觀上的不同，以及觀察其生活型態的差異。

提出問題二

是否玉帶鳳蝶成蝶型態在幼蟲時外觀就可以辨別？

動手實驗

我們將分類好的幼蟲分開飼養，並在幼蟲羽化蝴蝶後比較是否關聯性，探討擬態是否在幼蟲階段就已開始出現型態上差異。我們在二至三齡時期先將玉帶鳳蝶幼蟲尾端的紋路分成兩類：

表 3-1 玉帶鳳蝶幼蟲分類表		(圖片來源：自行拍攝)
分類標準	尾端紋路有明顯兩條線	尾端僅有一條線
樣本數	6 隻	9 隻
二至三齡 幼蟲		
四至五齡 幼蟲		

提出問題三

是否從玉帶鳳蝶幼蟲外觀可以辨別性別？

動手實驗

在此實驗中，我們的目標是找出分辨幼蟲公母的方法。我們發現能夠利用手電筒的光線由腹部往背部照射四齡幼蟲，直接用肉眼找尋腰部的兩個黑點，推測其為雄性。



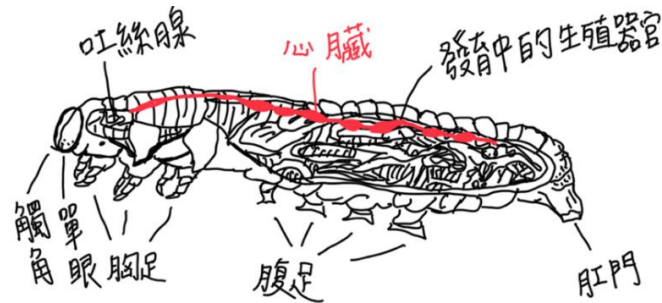
(a)



(b)

◀圖 3-6 (a)(b)將幼蟲放置在透明飼養盒蓋上，利用手電筒的光照射檢查其背部是否有精巢的構造。
(圖片來源：自行拍攝)

我們查找到蝶類資料，觀察到蝴蝶構造圖(呂至堅與陳建仁，2014)，推測出了為何此方法能夠分辨公母的原因：我們猜想那是因為雄性幼蟲的背部內有兩個尚未發育完全的生殖器官-精巢(未發育完全之性器官)，導致使用手電筒照射時會在腰部顯現出兩個黑點，但是在一般的情況下，公母的外觀完全相同，幾乎無法分辨雄雌。



(圖片來源：自行繪製)

圖 3-7 我們在國外網站上看到介紹毛毛蟲的構造，我們將其自行畫下並翻譯器官名稱。

研究四、研究玉帶鳳蝶幼蟲的體色與食草種類的關係

提出問題一

食草的顏色是否會影響四齡幼蟲的體色？

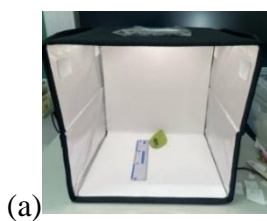
動手實驗

第一次實驗

本次實驗的研究變因如下：

操控變因	記錄前餵食檸檬葉，記錄後餵食金桔葉。
應變變因	五齡幼蟲的體色。
控制變因	葉片種類、幼蟲的年齡和數量、實驗環境的光照、溫度和濕度。

- 一、我們在幼蟲一到轉四齡幼蟲後，三天都餵食葉片顏色較淺的檸檬葉。
- 二、拍照記錄時我們在小型攝影棚中，設置固定的光源亮度來拍攝，並用手機 APP-Pixeur，測量五齡幼蟲背部橫紋下的 HSB 值。



(a)



(b)

◀圖 3-8 (a)維持一致的光源
(b)使用比例尺拍照紀錄。

(圖片來源：自行拍攝)

第一次紀錄 12 隻樣本的體色如下：



◀圖 3-9 (a)第一次測量 (b)第二次測量。（圖片來源：自行拍攝）

第二次實驗

我們根據上一次的實驗討論，將 30 隻三齡幼蟲轉四齡幼蟲六天後拍照，測量期體色與食草顏色的關聯，並分析數據，HSB 中的 H 為色相（Hue）我們利用其數值是否相近來分辨是否為相似色。餵食的食草統一為香水檸檬。

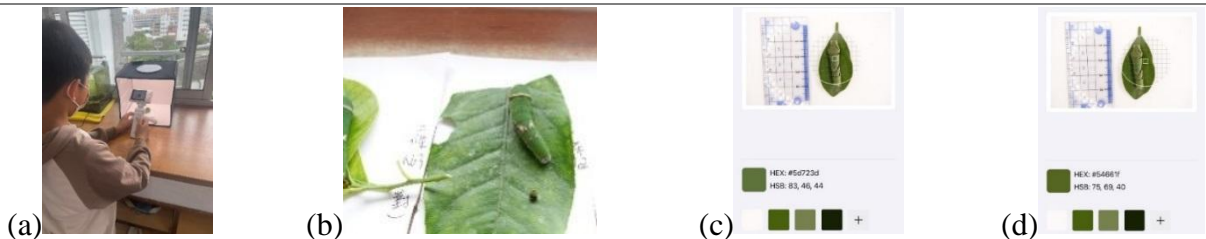


圖 3-10 (a)先用相機及攝影棚控制光源(b)我們摘取四齡幼蟲正在食用的食草一起拍照。

(c)(d)用手機軟體測量幼蟲體色及食草顏色，獲得數據。（圖片來源：自行拍攝）

研究五、研究玉帶鳳蝶貝氏擬態是否能降低天敵捕食風險

提出問題

貝氏擬態的成蝶是否較能躲過鳥類的襲擊？

動手實驗

第一、二次實驗的研究變因如下：

操控變因	第一次實驗:三種蝴蝶模型(擬態型及非擬態型玉帶鳳蝶、紅紋鳳蝶)。確保每種模型在顏色和形態上明顯不同，以便觀察捕食者的選擇偏好。 第二次實驗:使用擬態型及非擬態型玉帶鳳蝶標本。
應變變因	捕食者對各模型的反應，包括攻擊次數、停留次數等。
控制變因	1.模型放置位置（確保所有模型處於相同的位置，不受環境差異影響）。 2.實驗時間（在同一時段進行觀察，確保捕食者的活躍性一致）。

實驗地點：校園花園。

研究步驟：

- 一、將三種形態的蝴蝶模型隨機放置在同一地點，使捕食者有機會接觸到所有模型。
- 二、使用相機記錄鳥類或昆蟲對每個模型的反應，例如是否啄食、停留或避開。
- 三、重複觀察三次以獲得更多數據，確保結果具有代表性。

第一次實驗

利用透明片（翅膀）、輕黏土（身體）、鐵絲（觸角）製作模型，並在校園花園進行實驗。



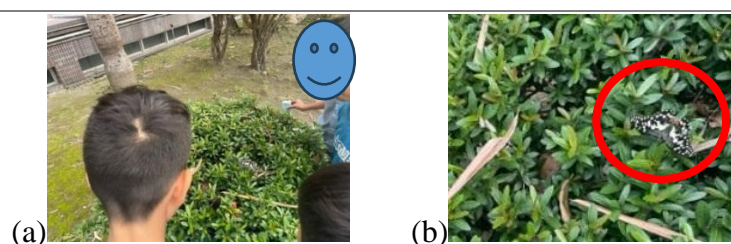
◀圖 3-11 (a)我們製作紅紋鳳蝶(左下)、擬態型玉帶鳳蝶(右上)、非擬態型玉帶鳳蝶(右下)。(b)我們將蝴蝶模型放到矮仙丹花上。(圖片來源：自行拍攝)

第二次實驗

我們根據第一次的實驗檢討，將之前羽化過後的玉帶鳳蝶屍體製作成簡易標本。現有的蝴蝶標本有：擬態型玉帶鳳蝶、非擬態型玉帶鳳蝶、淡紋青斑蝶以及無尾鳳蝶。



◀圖 3-12 製作標本流程：(a)先將之前自然死去的蝴蝶屍體退冰 20 分鐘後，用大頭針在珍珠板上固定。(b)用果乾機調整 40 度，低溫烘乾 3 天。(圖片來源：自行拍攝)



◀圖 3-13 (a)(b)我們將蝴蝶標本利用雙面膠固定在矮仙丹花樹上，並等待 30 分鐘。(圖片來源：自行拍攝)

第三次實驗

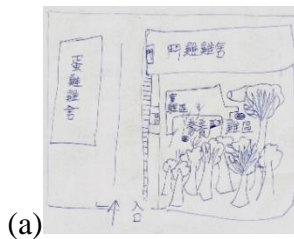
本次實驗的研究變因如下：

操控變因	兩種蝴蝶彩色列印圖片及標本：包括擬態及非擬態行玉帶鳳蝶。確保每種模型在顏色和形態上明顯不同，以便觀察捕食者的選擇偏好。
應變變因	捕食者對各模型的反應，包括攻擊次數、停留次數等。

控制變因

- 1.模型放置位置（確保所有模型的位置都可以接觸到補實者，不受環境差異影響）。
- 2.實驗時間（在同一時段進行觀察，確保捕食者的活躍性一致）。
- 3.使用雞舍鬥雞(戶外區約 500 隻)。

我們到同校同學家的雞舍做實驗，準備了擬態與非擬態玉帶鳳蝶的圖片和之前所製作的玉帶鳳蝶標本，先勘查雞舍的地形之後，我們選定於戶外養雞的空間來做實驗。



(a)



(b)



(c)

◀圖 3-14 (a)場地
地圖 (b)室內養
殖區 (c)戶外圈
養區(圖片來
源：自行拍攝)

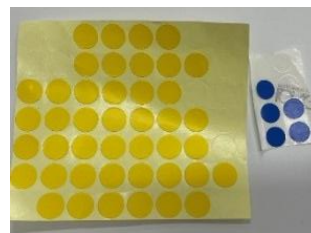
我們使用的玉帶鳳蝶有彩色列印的圖片(鳳蝶展翅 6-7 公分)，用紅色及灰色細線綑綁在竹筷上分辨擬態型和非擬態型玉帶鳳蝶。



(a)



(b)



(c)



(d)

圖 3-15 (a)我們將彩色圖片剪下，用紅線固定擬態型鳳蝶圖片，用灰色線固定非擬態型。

(b)(c)玉帶鳳蝶標本、用來放置標本的巧拼(白/木紋色)、用來標示不同型態的圓點貼紙。(d)實驗紀錄表
(圖片來源：自行拍攝)

我們總共做了三次的實驗，每次 10 分鐘。第一輪實驗將 8 隻擬態與 8 擬態的成蝶立牌放置在戶外雞舍(有圍籬)的四個地方，設置完成後在立牌旁擺上牧草，架設攝影機，並退出圍籬安靜觀察。



(a)



(b)



(c)

◀圖 3-16 (a)在地上插入圖片立牌 (b)用牧草放在立牌中間 (c)十分鐘後查看立牌情況。

研究六、規劃玉帶鳳蝶校園復育方案

在校園內種植適合蝴蝶的寄主植物與蜜源植物，能成功吸引蝴蝶繁殖。

動手實驗

- 一、 選定校園教室陽台為蝴蝶復育地點，種植食草與蜜源植物。
- 二、 定期觀察蝴蝶的產卵、幼蟲成長及成蝶行為，記錄數據並分析其生態影響。

校園蝴蝶復育計劃

為了加深其他學生對生態的理解，並提供近距離觀察蝴蝶成長的機會，我們計劃在校園教室陽台進行蝴蝶培育，為蝴蝶提供適合的棲息和食物環境。計劃將以台東常見的蝴蝶物種為基礎，選用其所需的寄主植物和蜜源植物，讓其他學生可以了解蝴蝶與生態環境的互動。

一、計劃步驟

- (一) 地點選擇：教室陽台區：設置為幼蟲寄主植物區及蜜源植物區，供成蝶取食花蜜。陽台有充足陽光且便於觀察。
- (二) 植物準備：寄主植物—馬利筋、阿勃勒、長穗木、有消骨、馬兜鈴、柑橘類植物（檸檬、金桔）、過山香、胡椒木。蜜源植物—馬利筋、馬纓丹、百日草、繁星花。這些植物花蜜豐富，能吸引鳳蝶、斑蝶等多種蝴蝶及其他昆蟲，增強校園生態多樣性。
- (三) 蝴蝶引入與觀察：定期檢查植物，觀察是否有蝴蝶產卵，並記錄幼蟲的成長過程。

二、注意事項

- (一) 農藥管理：為了保護蝴蝶及其他益蟲的安全，避免在陽台區域使用農藥與驅蟲藥。
- (二) 植物健康管理：定期檢查寄主植物和蜜源植物的健康狀況，確保它們有充足的水分和陽光，並每7天以花寶稀釋噴施一次。
- (三) 觀察區設置：在菜園和陽台設置觀察區，劃分學生觀察的活動範圍，以避免對蝴蝶的過度干擾，確保其正常活動。
- (四) 生態教育與宣導：結合生態課程，向同學介紹蝴蝶的生活史、蝴蝶與植物的共生關係，並鼓勵學生尊重自然生命，培養愛護環境的態度。

肆、研究結果

研究一、觀察玉帶鳳蝶的生活史

以下是我們紀錄玉帶鳳蝶各個成長階段的體長與照片：(成長天數受季節影響)









			
4-5 天) 直徑約 1.2 mm	一齡蟲(約 3-5 天) 體長約 0.6 cm	二齡蟲(約 5 天) 體長約 1.3 cm	三齡蟲(約 5 天) 體長約 1.7 cm
			
四齡蟲(約 5-7 天) 體長約 2.5 cm	前蛹(約 1 天)	蛹(約 7-10 天) 體長約 3 cm	成蝶(約 12-18 天) 體長約 7.5-8 cm

圖 4-1 玉帶鳳蝶成長紀錄表

(圖片來源：自行拍攝)

成蝶型態：


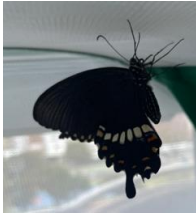



型態	擬態型(雌)	非擬態型(雌)	非擬態型(雄)
照片			
			
描述	蝴蝶尾部會擁有明顯的亮橘色的斑點。	背部有細微紅橘色的眼型斑紋，只有雌蝶專有的。	全身呈現烏黑亮麗的黑色，背部沒有橘色斑點。

圖 4-2 樣本羽化型態紀錄

(圖片來源：自行拍攝)

在第一輪樣本的飼養當中我們觀察到許多書籍及文獻資料中沒有紀錄的行為，並將其用照片及文字記錄下來。說明如下：

照片	行為描述
	<p>在二齡幼蟲就有臭角，以及在前蛹期禦敵也會伸出臭角。幼蟲若一直伸出臭角也會耗盡太多體力。</p>
	<p>我們在利用微距顯微鏡觀察幼蟲時發現，四齡幼蟲背上有類似脈搏的跳動，我們查詢資料後發現那是幼蟲如血管般長條的心臟。</p>
	<p>幼蟲在啃食葉片後，用大顎咬身後的排泄物，將其甩出，約三-四顆約3-4 顆糞便的量。</p>
	<p>幼蟲在攀爬會吐絲固定。</p>
	<p>我們發現幼蟲要脫皮、化蛹時幼蟲會在飼養箱壁上直立</p>
	<p>幼蟲三齡到四齡脫皮，耗時約 3-4 分鐘，幼蟲會扭動身軀脫皮。(左圖)脫皮拖到身體後半處。(右圖)剛脫完皮，幼蟲身體還略呈濕潤，身上的綠色深淺不一。</p>
	<p>三齡幼蟲正在吃剛脫下的皮。</p>
	<p>化蛹前幼蟲會搖頭晃腦地吐絲，一直搖擺身軀，之後呈現前蛹的型態後靜止不動，但遭遇敵人仍會伸出臭角。</p>



化蛹前會拉長身體排掉體內水分，排泄物以肉眼所見可以看到液體量大於固體，顏色呈現褐色。



除了褐色型、綠色型、我們還發現有部分褐色混和部分綠色型的蛹。如結蛹脫落我們用紙做成圓錐形紙筒讓掉落的蛹可以順利化蛹。



幼蟲在化蛹時，會留下**頭部**(長約0.8mm)掛在蛹的末段。



未成功羽化的蛹，在蛹上面可以看到明顯的黑點。



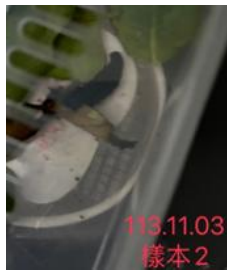
在鳳蝶要羽化的前一天可以從蛹的外面觀察到蝴蝶的翅膀的花紋，約莫半天後會全部變黑，在幾個小時內會羽化。



以蛹過冬。我們飼養的鳳蝶在十二月結蛹後，到三月羽化，歷經三個多月的蛹期。我們也觀察到只要蛹沒有發黑(完全沒有花紋透出)，皆能成功羽化。

圖 4-3 玉帶鳳蝶生長紀錄表

(圖片來源：自行拍攝)



樣本 2-不明原因
蟲體發黑



樣本 3-更換食草
後，蟲體停止活
動並流出黑汁。



樣本 4-蛹流出黑
汁，在蛹的四周
還有發現白色蟲
卵，我們猜測是
否被寄生。



樣本 6-幼蟲在化蛹
時，因在飼養盒開
關處，不小心挪動
蟲體，導致化蛹失
敗。



樣本 7-蛹外
觀乾扁且脆
化，且一個
月未羽化



樣本 8-剛化蛹
時，蛹的中段發
黑，之後感覺蛹
體非常乾。



樣本 16-在二齡
即乾扁不動。



樣本 18-四齡幼
蟲 4-5 日不動不
進食後，身體縮
水死亡。



樣本 19-疑似飼養
和透氣孔太大，樣
本爬離飼養盒。



樣本 20-同樣
也在二齡時期
乾扁不動。

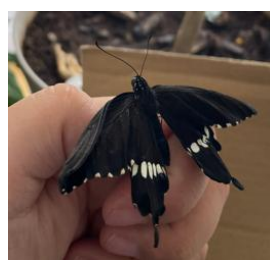
圖 4-4 樣本死亡原因

(圖片來源：自行拍攝)

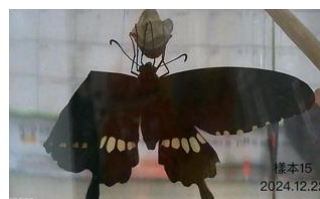
在成功羽化的樣本中，3 隻樣本未成功羽化展翅、1 隻樣本展翅的過程中折到翅膀。



樣本 5-在羽化過程
中死亡



樣本 9-羽化後一天
死亡



樣本 15-在展翅過程中翅
膀因空間不足折到，存
活下來，只是飛不高。



樣本 21-羽化失敗
後死亡

圖 4-5 樣本羽化失敗原因

(圖片來源：自行拍攝)

第二輪 30 隻樣本，成功化蛹的有 18 隻，死亡率趨於下降。並在羽化的過程中有了樹枝可以讓蝴蝶展翅，就沒有出現折到翅膀的情形。除此之外，我們觀察到幼蟲在化蛹過程中，對環境震動非常敏感。任何輕微的震動都可能導致化蛹失敗。因此，在操作飼養箱時需格外小心。

研究二、研究玉帶鳳蝶幼蟲對植物葉片的偏好種類

問題一：飼養一隻玉帶鳳蝶幼蟲需要多少食草的數量？

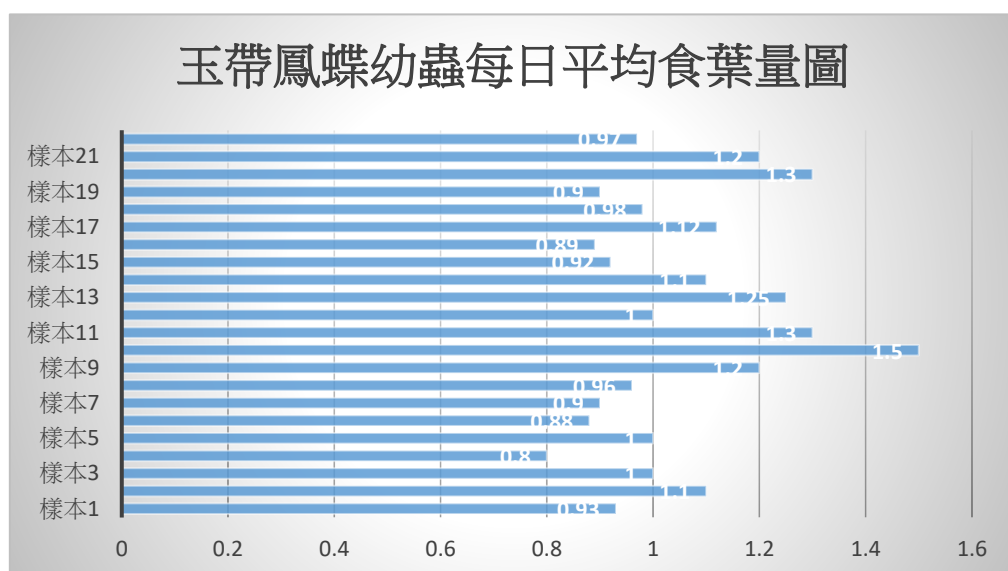


圖 4-6 幼蟲每日平均食葉量長條圖(公克) (圖片來源：自行繪製)

以下六個樣本為同一時間孵化，且順利結蛹的樣本。

日期	食葉量
樣本 11	110
樣本 13	70
樣本 14	102
樣本 15	88
樣本 21	107
樣本 22	92
平均	94.83

表 4-1 幼蟲總食葉量

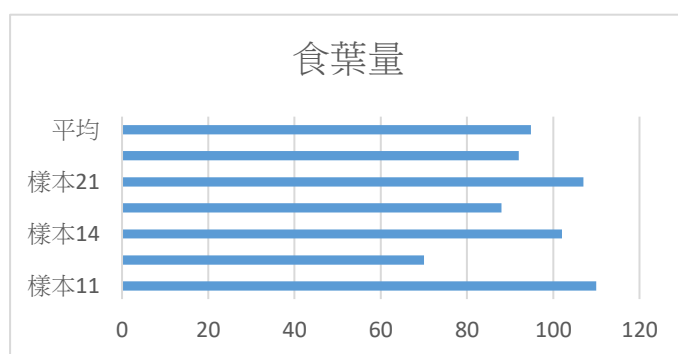


圖 4-7 幼蟲總食葉量長條圖

(圖片來源：自行繪製)

我們計算一齡到結蛹時的食葉量，由於葉子為不規則形狀，我們在用平方公格板計算上估算也存在誤差值，我們控制在 ± 2 平方公分以內。一隻玉帶鳳蝶幼蟲到結蛹前約食用 91.83~97.83 之間 94.83 ± 3 平方公分的金桔葉。

問題二：玉帶鳳蝶幼蟲對於食草是否有喜好？

六次實驗結果如下圖所示。

(圖片來源：自行拍攝)

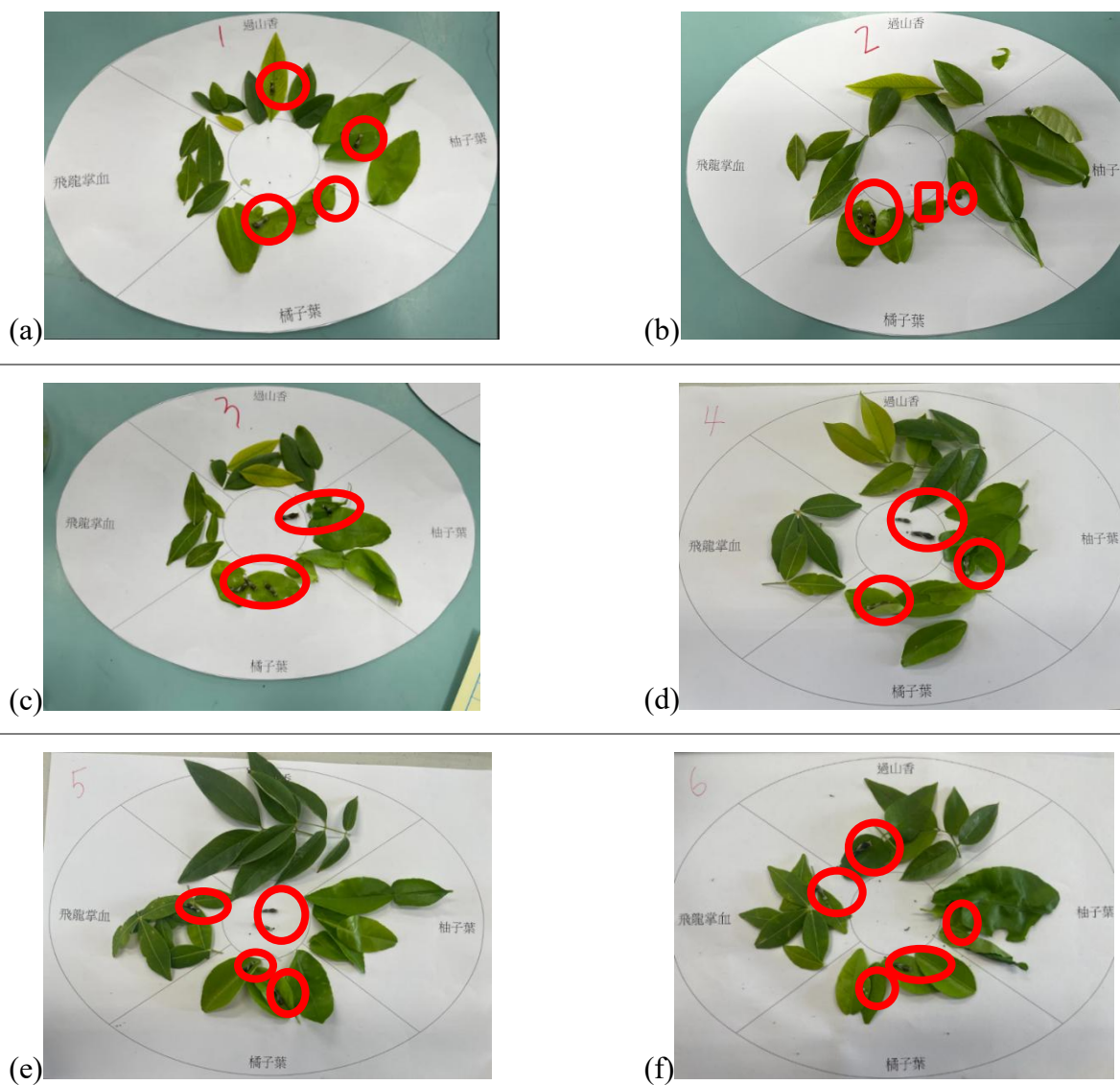


圖 4-8 (a)第一次 (b)第二次 (c)第三次 (d)第四次 (e)第五次 (f)第六次實驗

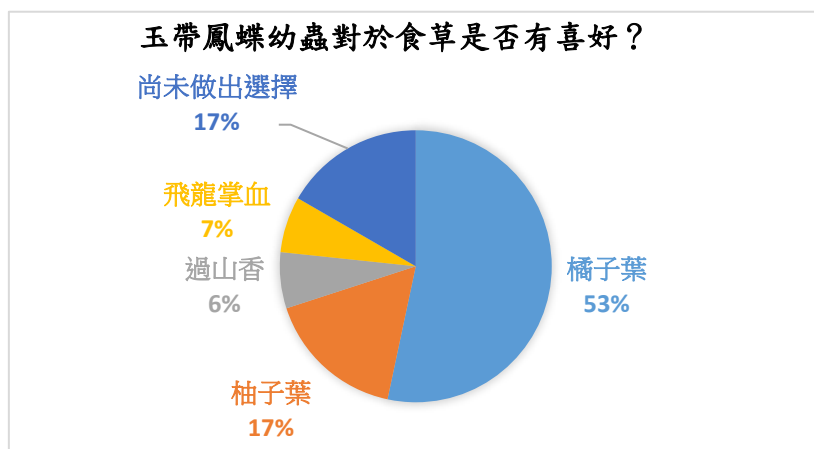


圖 4-9 玉帶鳳蝶幼蟲食草喜好實驗數據圓餅圖

(圖片來源：自行繪製)

研究三、分析玉帶鳳蝶幼蟲外觀與成蝶型態的關係

問題一：是否能從鳳蝶一至三齡時幼蟲的外觀來分辨成蝶的種類？

無尾鳳蝶		玉帶鳳蝶	
二至 三齡 幼蟲			
	描述 無尾鳳蝶背部白色紋路較為飽和，尾部為左右兩塊。	玉帶鳳蝶幼蟲在烏糞期背部呈現白色網型紋路和背部尾端的類似「XX」紋路。	
大鳳蝶		臺灣鳳蝶	
二至 三齡 幼蟲			
	描述 大鳳蝶的一至二齡幼蟲相較於玉帶鳳蝶體色綠色較為明顯，且尾部紋路較飽滿，身體中間有一條不太明顯的黃色紋路，頭部紋路較短。	台灣鳳蝶尾部的條紋為黃色，且疑似黃色的突起物。背部的白色斑紋在身體兩側較為明顯。	

圖 4-10 鳳蝶幼蟲差異圖

(圖片來源：自行繪製/拍攝)

問題二：是否玉帶鳳蝶成蝶型態在幼蟲時外觀就可以辨別？

分類標準	尾端紋路有明顯兩條線	尾端僅有一條線
樣本數	6 隻	9 隻
成蝶形態	擬態型雌蝶 4 隻、2 隻死亡	非擬態型雌蝶 2 隻、7 隻死亡
		

圖 4-11 鳳蝶羽化型態統計表

(圖片來源：自行拍攝)

問題三：是否從玉帶鳳蝶幼蟲外觀可以辨別性別？

在檢查過 30 隻四齡幼蟲，我們發現只找出 5 隻四齡幼蟲背上在光照後有兩個類似精巢的黑點。目前 4 隻化蛹為雄性玉帶鳳蝶、1 隻化蛹後因固定帶纏繞蛹體發黑死亡。

研究四、研究玉帶鳳蝶幼蟲的體色與食草種類的關係

問題一：食草的顏色是否會影響四齡幼蟲的體色？

第一次實驗



(圖片來源：
自行拍攝)

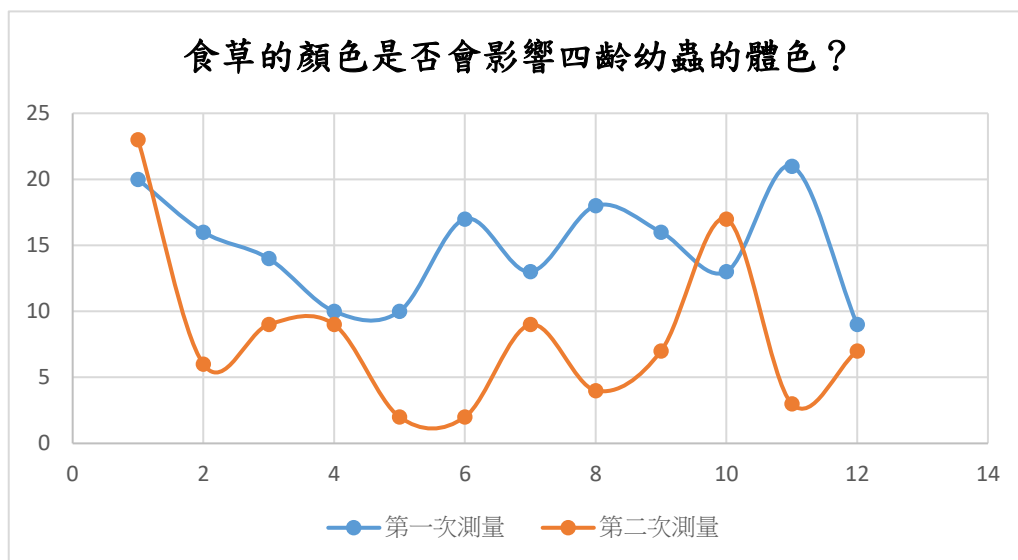


圖 4-12 幼蟲體色亮度實驗數據圖

(圖片來源：自行繪製)

第一次測量後，我們發現了這次的實驗餵食了檸檬葉後，幼蟲身體的體色明顯看出來是淺色(亮度偏亮)。第二次測量，餵食了金桔葉後，幼蟲的身體體色也明顯變成了深色(亮度偏暗)，由實驗可知餵了不同顏色深度的葉子會使幼蟲身體有顏色差異。

第二次實驗

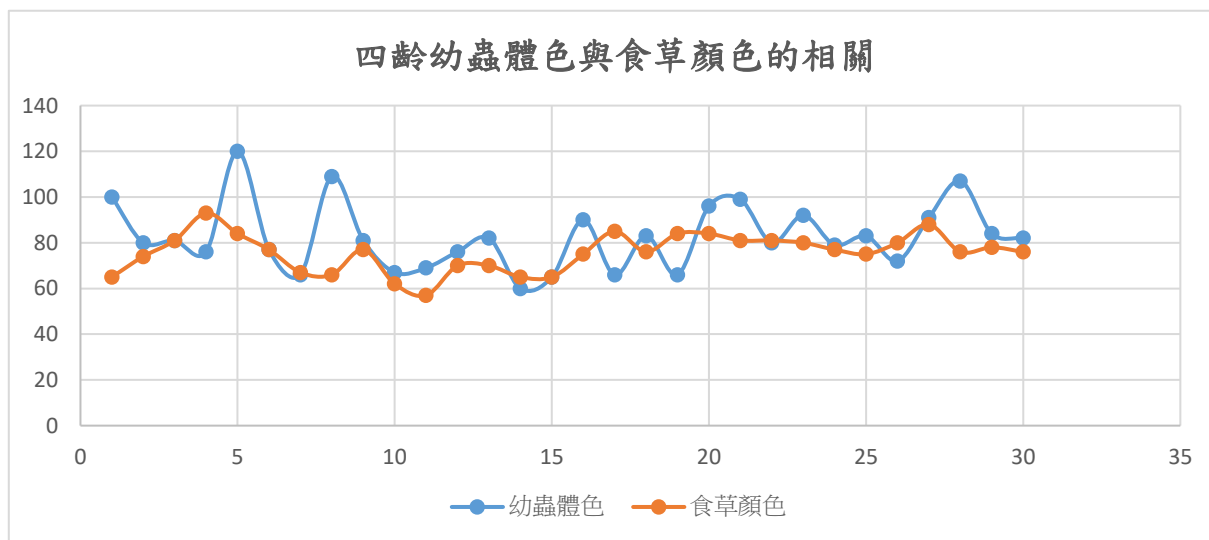


圖 4-13 四齡幼蟲體色與食草顏色的相關數據表

(圖片來源：自行繪製)

我們發現幼蟲體色的變化介於色相值 60 到 120 之間，平均色相值是 78.5;食草顏色的變化介於 58 到 96 之間，平均色相值是 78.83，表示幼蟲體色和食草顏色呈現正相關。

研究五、研究玉帶鳳蝶貝氏擬態是否能降低天敵捕食風險

第一次實驗

第一次實驗無任何掠食者靠近我們的實驗設計。

第二次實驗

(圖片來源：自行繪製)

	擬態型	非擬態型
被啄	2	3
被踩踏	1	1
被叼走	1	0
被攻擊總數	4	4

表 4-3 第一輪實驗統計表

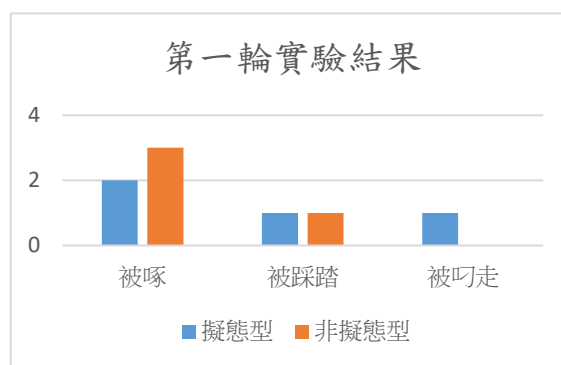


圖 4-14 第一輪實驗結果長條圖

第二輪使用擬態型玉帶鳳蝶標本 3 隻與非擬態型玉帶鳳蝶標本 11 隻，放置在巧拼上面，並在每隻標本下面貼上原點貼紙(黃色擬態型與藍色非擬態型)已標示其位子，並加設攝影機。



圖 4-15 (a)將蝴蝶標本放在大型巧拼上，並用圓點貼紙分別標示擬態型與非擬態型玉帶鳳蝶。(b)因為雞的警覺較高，我們架設攝影機後，退到門後觀察。(c)雞都只有觀望，未啄食蝴蝶標本。(圖片來源：自行拍攝)

十分鐘內雞都未踏上巧拼，但約有 5-8 隻雞有在巧拼旁伸長脖子觀看，約 5 秒之後就離開。

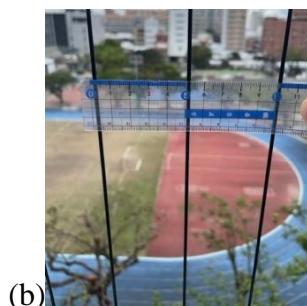
在第二輪實驗後我們猜想會不會是巧拼的白色太過刺眼，所以我們將巧拼翻到木紋色的那面再做一次實驗，但是結果一樣都沒有踏上巧拼。



◀圖 4-16 (a)將巧拚從白色面，翻至木紋面。(b)雞群圍繞巧拚、伺機觀察標本，但未啄食蝴蝶標本。
(圖片來源：自行拍攝)

研究六、規劃玉帶鳳蝶校園復育方案

一、校園高層樓教室陽台具有隱形鐵窗可以當阻擋掠食者的優勢。



◀圖 4-18 (a)(b)隱形鐵窗的鐵線間隔 5 公分，鳥類不易進入。
(圖片來源：自行拍攝)

二、陸續發現探訪復育區的昆蟲。



圖 4-19 (a)113/11/27 我們觀察到有一隻無尾鳳蝶在盆栽上徘徊。(b)114/3/6 在金桔葉上發現毒蛾。(c)114/4/12 在金桔葉上發現有 1 隻無尾鳳蝶二齡幼蟲。(圖片來源：自行拍攝)

三、在 113/11/27 我們在金桔樹上發現八顆卵，使用微距顯微鏡觀察到部分卵有一下的特徵，但在 11/29 部分卵有發霉的現象，最終八顆卵都沒有孵化。



圖 4-20 (a)113/11/27 拍攝 (b)113/11/29 拍攝

(圖片來源：自行拍攝)

四、113/12/31 我們發現另一批蝴蝶產卵在以下的植物，分別為：金桔樹上 25 顆、胡椒木上 7 顆，以及阿勃勒上 1 顆。未來可以針對蝴蝶對繁衍後代的植物選擇上是否有喜好做進一步的研究。

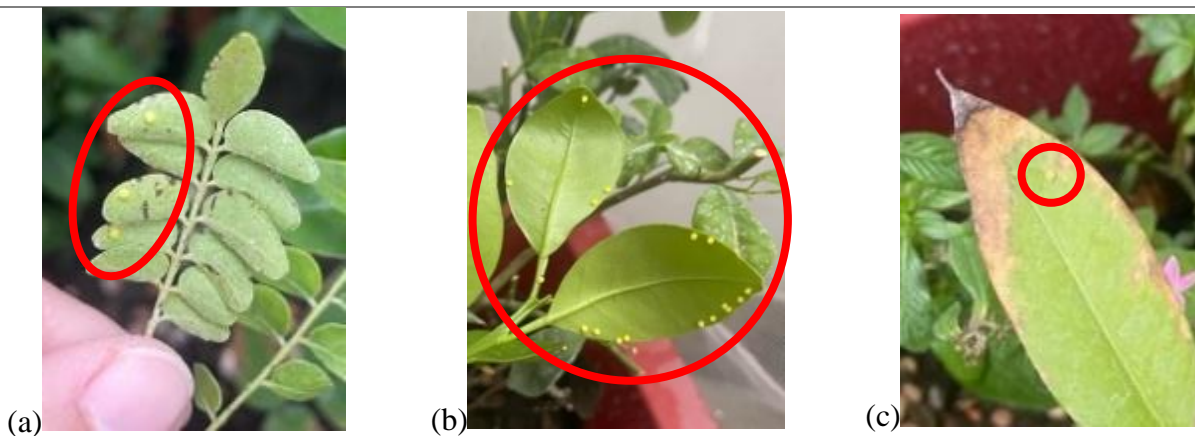


圖 4-21 復育區植物葉背的蝴蝶卵 (a)胡椒木 (b)金桔樹(c)阿勃勒 (圖片來源：自行拍攝)

伍、討論

研究一、觀察玉帶鳳蝶的生活史

在飼養的三批樣本中，我們一開始很疑惑每批先羽化的都是雄蝶，所以開始記錄每批樣本(同一親代所產下的子代)羽化的時間，發現雄蝶會比雌蝶早 3-5 天羽化(在野外會回提前飛離食草區)，我們推測他們是為了防止近親交配。

問題一：如何減少人工飼養玉帶鳳蝶的死亡率？

因為在飼養第一輪 22 隻樣本，有 11 隻樣本在幼蟲時期死亡(如圖 4-4)，死亡率為 50%。透過連續飼養與觀察，我們記錄了玉帶鳳蝶從卵期、幼蟲期、前蛹、蛹到成蝶的各個階段(如圖 4-1)，並詳細紀錄其體長、體色變化、行為模式與蛻皮過程。從二齡幼蟲開始就具備有吐絲固定、伸出臭角禦敵、吃掉自己蛻下的皮、再化蛹前會不停地扭動身軀等多樣生活行為(如圖 4-3)。

研究二、研究玉帶鳳蝶幼蟲對植物葉片的偏好種類

問題一：飼養一隻玉帶鳳蝶幼蟲需要多少食草的數量？

我們也發現幼蟲在吃葉片時，不會將一片葉子啃食乾淨才換下一片，常常只吃不到三分之二就換下一片，所以在飼養時需要多食草的量才能養活一隻玉帶鳳蝶幼蟲。

問題二：玉帶鳳蝶幼蟲對於食草是否有喜好？

根據實驗結果顯示，本次實驗的食草均有幼蟲選擇，食草被幼蟲選的數量由多至少為：橘子葉有 16 隻、柚子葉 5 隻、過山香 2 隻、飛龍掌血 2 隻，另外 5 隻在記錄時尚未做出選擇(如圖 4-8)。在控制葉片大小與新鮮度的條件下，進行六次的實驗，結果顯示幼蟲對橘子葉的偏好明顯高於柚子葉、過山香與飛龍掌血。研究結果可作為日後飼養的參考，可以提高飼養的容易度。但因幼蟲個體不同，所以選擇上也會有差異，會造成實驗結果的差距。

在文獻探討中我們查詢到潘祈叡等人(1998)在〈揭開無尾鳳蝶的祕密〉一文中的實驗無尾鳳蝶幼蟲會被沾有柚子汁液的棉片所吸引，我們這次所用來實驗的食草:柚子葉、橘子葉、飛龍掌血和過山香的葉子都有非常香的味道，未來可以設計實驗來驗證幼蟲是用什麼器官來選擇偏愛的食草。

研究三、分析玉帶鳳蝶幼蟲外觀與成蝶型態的關係

問題一：是否能從鳳蝶一至三齡時幼蟲的外觀來分辨成蝶的種類？

臺灣鳳蝶和大鳳蝶皆有會有抬頭搖擺禦敵的行為。當牠們若有感受被侵犯或不舒服的時候，牠會警覺抬頭的環視目前的環境是否安全。在觀察鳳蝶二至三齡幼蟲時，牠們體色變化和身上呈現的斑紋位置，可以用肉眼觀察辨識未來成蝶種類(如圖 4-10)，對於未來在演外生態考察有明顯的幫助。

研究顯示可以用肉眼明先分辨出無尾鳳蝶、玉帶鳳蝶的幼蟲，他們在背部的 V 型斑紋上呈現明顯的不同(如圖 4-10)，台灣鳳蝶與大鳳蝶的二至三齡幼蟲體色較玉帶鳳蝶與無尾鳳蝶不同，但在右二至三齡時期難以分辨大鳳蝶與台灣鳳蝶二至三齡幼蟲的差異。

初步發現二至三齡幼蟲尾部斑紋預測其成蝶型態（擬態型或非擬態型），結果顯示進入四至五齡期後外觀趨於一致，目前羽化的研究樣本目前數量不多，未來會拉長時間增加樣本數量繼續研究。

問題二：是否玉帶鳳蝶成蝶型態在幼蟲時外觀就可以辨別？

玉帶鳳蝶幼蟲在一至三齡時，我們根據尾部的斑紋將幼蟲分為兩種：尾部有明顯兩條線的幼蟲、尾部僅有一條線的幼蟲(如圖 3-1)，我們推測這是否會和幼蟲的型態有關，但是不管是有兩條線或一條線的幼蟲，到了等到四至五齡時，外觀幾乎長得一模一樣，完全無法分辨型態(如圖 3-1)。

二至三齡幼蟲長大後，他們會經過一次的脫皮，就會變成四至五齡幼蟲。這時牠們的外觀會轉成青綠或亮綠的顏色，而身上的斑紋也會很相似，所以我們由肉眼很難辨別出他們斑紋細微的變化。

研究期間，並不是每一隻幼蟲都會成功飼養到羽化成蝶，所以我們都採用分開飼養方式，對研究數量及種類有精確的成果紀錄。

問題三：是否從玉帶鳳蝶幼蟲外觀可以辨別性別？

我們在檢查每一隻幼蟲時，發現非常不容易檢查，因為幼蟲在啃食葉片時都會吐絲將其在葉片上固定，只能靜待時機將其放到透明蓋上觀察。我利用手電筒的光由四齡幼蟲腹部往背部照射，用肉眼找尋腰部的兩個黑點(如圖 3-6)，推測為四齡幼蟲未發育完全的精巢器官，我們觀察到的五支具有未發育完全的精巢器官的雄蝶中四隻成功羽化為雄蝶，一隻未成功羽化。

研究四、研究玉帶鳳蝶幼蟲的體色與食草種類的關係

問題一：食草的顏色是否會影響四齡幼蟲的體色？

第一次實驗

根據亮度數據解讀：亮度（Brightness）指色彩的明亮度，取值範圍 0~100%，亮度為 0 時即黑色。我們在本次實驗中可發現幼蟲在吃檸檬葉時，體色的亮度都維持在 10 以上。改餵食金桔葉後，大部分幼蟲體色的亮度就會掉到 10 以下，甚至 2 或 3 (如圖 4-12)。由此可證幼蟲食草的顏色會影響幼蟲顏色。

我們也有發現不一定每隻幼蟲都是如此，有些幼蟲吃了顏色較深的金桔葉後，體色的亮度依舊維持在 10 以上。我們推測跟幼蟲食葉量有關係。因為在更換食草後，我們發現 2-3 隻四齡幼蟲會有拒食的現象。

根據資料查找後，我們發現玉帶鳳蝶在結蛹前，顏色會和正常情況下有些差異，再加上無法保證每隻幼蟲的年齡相同，會造成結果上的誤差。第二輪實驗可以設置實驗組和控制組來比較。

第二次實驗

我們發現幼蟲體色大多數高低起伏變化較大；食草顏色大多數是以接近平均數值，我們推測是因為相同品種的葉子顏色相近，然後幼蟲有可能會因為生活環境和食葉量不同所以每隻幼蟲的色相會變化較大。

實驗結果顯示，幼蟲體色亮度會受到所攝取葉片顏色影響：餵食淺綠色的檸檬葉會使體色偏亮，而餵食深色的金桔葉則體色偏暗。此外，第二次實驗顯示幼蟲體色的「色相值」與葉片色相呈正相關(如圖 4-13)，顯示其體色可能具有偽裝功能，與食草環境有顯著關聯。

研究五、研究玉帶鳳蝶貝氏擬態是否能降低天敵捕食風險

問題一：貝氏擬態的成蝶是否較能躲過鳥類的襲擊？

第一、二次實驗

在這個實驗過程，我們討論出先用透明片、輕黏土、油土及鐵絲做出假的鳳蝶模型(如圖 3-11)，但是鳥或許只愛吃活體，且做出的假蝴蝶和真的蝴蝶很難完全相似，我們下次可以用標本來做實驗。我們做實驗的時間為放學，此時在校園內無法避免會有其他學生走動，影響鳥的警覺心，下次可以利用假日。

我們發現鳥是很難掌握的控制變因，所以較難達到實驗的目的，或許我們可以用小米來引來八哥鳥，因為八哥鳥是雜食性，應該也會吃蝴蝶或標本。可能可以提高實驗成功的機率，且不會傷到鳥，讓鳥自己來選擇。如果可以加長實驗的時間，或許可以引來多一點鳥來啄食，以便後續的觀察，方便比較。做實驗時正值冬天，或許我們可以在天氣較溫暖時在公園或農場帶盆栽過去做實驗。或許可以把小鳥喜歡的食物放旁邊，例如：小米、蚯蚓、花草、堅果，成功率應該會比較高。

第三次實驗

貝氏擬態的捕食實驗中，我們在室內雞舍和戶外雞舍中選擇戶外雞舍做實驗(如圖 3-14)，是考量到放養的雞群應該有比較多的機會有看過蝴蝶，但也有可能因為不認識玉帶鳳蝶和紅紋鳳蝶，而雞無法辨認，也無從學習過貝氏擬態，所以並無興趣。

三輪實驗後，我們詢問雞舍主人是否有看過雞吃蝴蝶，主人回答說：有看過雞抓正在飛的蝴蝶來吃，現場也約莫有 2-3 隻紋白蝶飛舞，但我們並未觀察到啄食的部分。

因為我們很想知道雞會吃蝴蝶標本嗎？所以我們將無尾鳳蝶的標本丟入肉雞的飼養區，雞舍主人表示肉雞非常愛吃東西可以試試看，肉雞很快聚集在標本旁，但啄一次後就離開甚至踩踏蝴蝶標本表示沒有任何興趣。(如圖 5-1)



圖 5-1 將無尾鳳蝶標本放置戶外豢養區對面的蛋雞雞舍，雞隻同樣在觀察標本，但未啄食蝴蝶標本。(圖片來源：自行拍攝)

透過模型、標本與真實環境觀察的三輪實驗中，尚未觀察到擬態型與非擬態型在被啄食或接近上的明顯差異。推測因實驗環境、人為干擾或捕食者（如雞）對該類蝴蝶缺乏辨識經驗所致。此結果顯示擬態機制是否有效仍需進一步條件控制與長期觀察。

研究六、規劃玉帶鳳蝶校園復育方案

因校園要建置蝴蝶網室不易，且我們校園位於市中心，周邊車水馬龍，我們尋覓到校園高樓層的教室有設置隱形鐵窗(如圖 4-18)，認為可以防止鳥類進入，保護蝴蝶幼蟲。在教室陽台也方便我們觀察及照料植物。於教室陽台設置復育區，種植金桔、胡椒木與阿勃勒等寄主植物及馬纓丹等蜜源植物(如圖 4-19)，成功吸引蝴蝶訪花與產卵(如圖 4-20、圖 4-21)，並記錄到各種昆蟲來訪的紀錄(如圖 4-19)。我們也討論到鳳蝶幼蟲對於當地經濟作物的損益是否有影響，當地有柚子、柳橙等鳳蝶食草的作物，但評估後與學校位置相距 10 公里以上，不會造成果農的損失。我們的鳳蝶復育區即使位於市中心，只要環境合宜，仍具備推動蝴蝶復育與生態教育的可行性。

陸、結論

本研究以玉帶鳳蝶為主題，從飼養玉帶鳳蝶幼蟲開始觀察，閱讀文獻探討與發想實驗設計，深入分析玉帶鳳蝶在不同成長階段之生理特徵與生態行為。首先，在生活型態的觀察中，我們記錄了玉帶鳳蝶自卵至成蝶的變化過程，並發現幼蟲具備吐絲固定、自我防衛等行為，也觀察到玉帶鳳蝶同一親代所生的子代，雄蝶會比雌蝶先羽化，避免近親交配。

在食草偏好方面，我們發現二至三齡幼蟲對橘子葉具有顯著偏好，提供了未來飼養時的參考依據。透過與無尾鳳蝶、大鳳蝶與台灣鳳蝶二至三齡幼蟲外觀比較，初步建立了分辨依據；並嘗試是否能從二至三齡幼蟲尾部的紋路預測成蝶的擬態型態，雖尚未發現明確外觀指標，但手電筒透視法檢查精巢的方式初步可辨識雄性幼蟲。

針對體色與食草關係的研究中，我們發現幼蟲體色受葉片顏色顯著影響，色相值與食草呈現正相關，可能與偽裝能力有關。至於擬態對天敵的防禦功能，在三次擬態實驗中未觀察到明顯差異，可能受到實驗環境、捕食者種類及時間限制影響，未來可持續設計與觀察條件。

最後，我們亦在校園設置蝴蝶復育區，成功吸引蝴蝶訪花與產卵，驗證都市環境中亦可建構蝴蝶生態棲地，兼具教育與保育意義，因為了解玉帶鳳蝶的飼養不容易，加深我們對SDGs 陸域生態保護的意念。

未來展望

未來針對我們研究的基礎，可以在我們生活的地方擬定鳳蝶生態復育區，不僅是玉帶鳳蝶，也包含當地經常會出現的保育類蝴蝶：如黃裳鳳蝶、珠光鳳蝶，結合學校自然科學領域的教材，為生態及教育盡一份力。

柒、參考文獻資料

- 邱奕霖（2015）。光週期對淡紋青斑蝶（*Tirumala limniace limniace* (Cramer)）和玉帶鳳蝶（*Papilio polytes polytes* L.）發育之影響（學士論文）。宜蘭大學園藝學系。
- 巫家豪、潘崧傑、陳雨柔、王商益（2005）。探討以芸香科（*Rutaceae*）植物為食之六種鳳蝶研究。南投縣立宏仁國民中學，第 45 屆全國中小學科展。
- 潘祈叡、朱祁源、黃天佑、吳宗翰（1988）。揭開無尾鳳蝶的秘密。台北縣實踐國民小學，第 38 屆全國中小學科展作品。
- 蕭惠文（2006）。台灣玉帶鳳蝶及其寄主植物之研究（碩士論文）。國立嘉義大學森林暨自然資源研究所。<https://hdl.handle.net/11296/wxuu7u>
- 譚文皓、謝巧萱、王崑弘、陳思潔（2004）。戀戀鳳蝶~大鳳蝶化蛹之謎。台北縣永和市網溪國民小學，第 43 屆全國中小學科展。
- 譚文皓、謝巧萱、陳堯睿、陳芊良（2004）。食柑橘屬（*Citrus spp.*）植物的七種鳳蝶之幼蟲形態比較。臺北縣立福和國民中學，第 44 屆全國中小學科展。
- 陳素瓊、王俊凱、蘇慧珊、楊景堯、鄭韋佑（2000）。溫度對玉帶鳳蝶（*Papilio polytes pasikrates* Fruhstorfer）發育之影響。宜蘭技術學報，頁 35–43。
- 呂至堅、陳建仁（2014）。蝴蝶生活史圖鑑。晨星出版社。P58。
- 張永仁（2023）。蝴蝶 100 生活史全圖鑑（第 32–33 頁）。遠流出版社。

【評語】 080302

1. 聚焦玉帶鳳蝶及其擬態現象，呼應聯合國 SDGs 的生物多樣性保育目標，展現對自然環境議題的關注。
2. 實驗樣本與觀察時間略顯不足：部分實驗樣本數偏少，建議延長觀察時間或增加樣本數，以提升研究結果的代表性與穩定性。
3. 實驗變因控制尚可加強：擬態防禦實驗易受環境干擾，未來若能設計清楚的對照組，或於控制條件下進行實驗，將有助提升結果的信度。
4. 針對「貝氏擬態」可更深入探究：可延長觀察時間，或選擇不同地點進行比較性實驗，以更具體呈現擬態的生態效益。
5. 具體呈現幼蟲遭天敵捕食的數據：例如觀察幼蟲被雞啄食的損耗率，若能詳細紀錄並量化分析，將使研究結果更具說服力。

作品海報

蝶對蝶 — 玉帶鳳蝶貝氏擬態

與生活史之研究



圖片來源：自行拍攝

摘要



(圖片來源:自行拍攝)

本研究以玉帶鳳蝶為研究主題，透過飼養觀察、文獻探討與實驗設計，探究其生活史、生理特徵與生態行為。研究發現，二至三齡幼蟲即具備臭角防禦、吐絲固定等能力，且發現同一親代中雄蝶較雌蝶先羽化，減少近親交配的機會。在食草選擇方面，觀察到二至三齡幼蟲對橘子葉有偏好。本研究藉由與其他種鳳蝶幼蟲外觀比較，建立辨識依據；並以光照法檢查四齡幼蟲是否具有未發育完全的生殖器官(精巢)推測為雄性。研究者同時發現，幼蟲體色受食草葉色影響，呈現偽裝可能性。針對貝氏擬態的捕食實驗尚未得出明確結論，需進一步改良實驗設計。校園復育區的建置成功吸引鳳蝶訪花與產卵，顯示都市亦可成為生態棲地，具教育與保育意義，呼應SDGs陸域生態保育的目標。

壹、前言

一、研究動機

在決定研究主題時，我們發現彼此都非常熱愛昆蟲，而且四年級的自然課正好也學習到昆蟲的單元；指導老師也提到梁山伯與祝英台的故事，故事主角最後變成玉帶鳳蝶，使我們對這種蝴蝶產生了濃厚的興趣，促使我們想進一步探究玉帶鳳蝶的生態特性。透過查閱資料，我們發現玉帶鳳蝶具有「貝氏擬態」這種特別的保護機制，使牠們能夠羽化出模仿有毒的「紅紋鳳蝶」的成蟲以躲避天敵，這種擬態現象令我們感到非常驚奇！

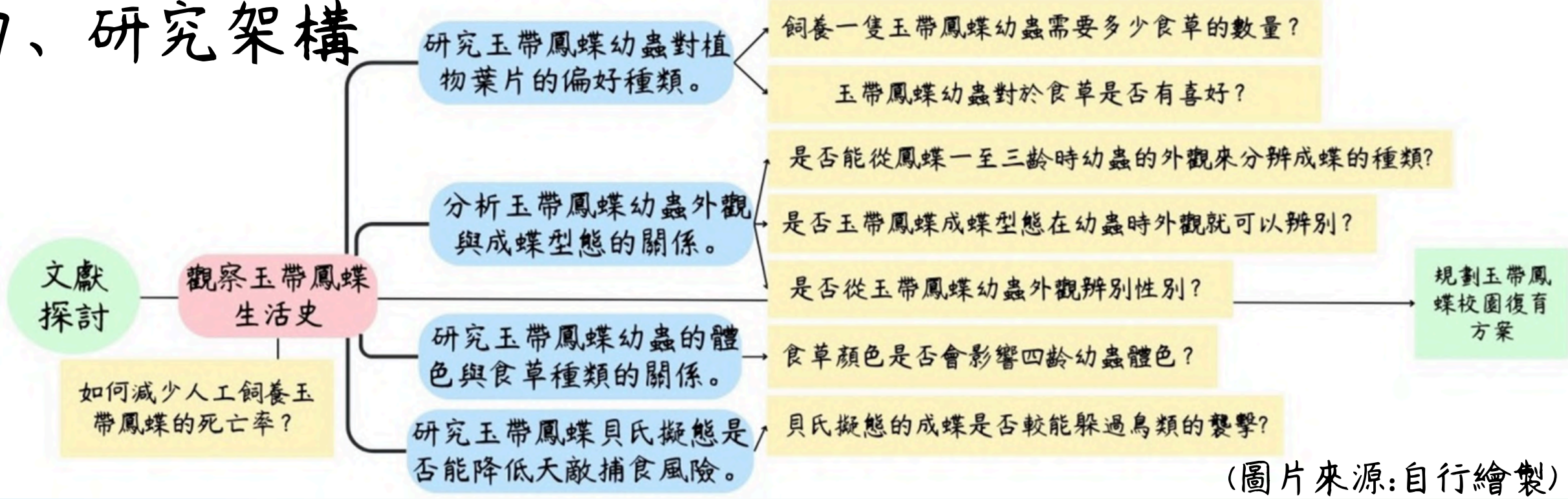
二、研究目的

- (一)觀察玉帶鳳蝶的生活史
- (二)研究玉帶鳳蝶幼蟲對植物葉片的偏好種類
- (三)分析玉帶鳳蝶幼蟲外觀與成蝶型態的關係
- (四)研究玉帶鳳蝶幼蟲的體色與食草種類的關係
- (五)研究玉帶鳳蝶貝氏擬態是否能降低天敵捕食風險
- (六)規劃玉帶鳳蝶校園復育方案

三、文獻回顧

研究者與年份	主要發現與貢獻
潘祈叡等人 (1998)	幼蟲會朝氣味來源爬行並啃咬，證實依賴氣味辨識食草。
巫家豪等人 (2005)	製作鱗片型態檢索表，強調形態特徵在分類上的應用。
譚文皓等人 (2003)	依據臭角、頭部顏色與斑紋等製作分齡期分類檢索表。
邱奕霖 (2015)	化蛹偏好遮蔽穩定處，顏色受亮度與背景影響，震動無影響。
巫家豪等人 (2005)	玉帶鳳蝶在8-10小時日照孵化率最高，長日照縮短發育期但影響存活率不大。
蕭惠文 (2006)	偏好芸香科與樟科植物，寄主植物影響幼蟲生長與存活，雌蝶具產卵選擇性，一年可繁殖六代。
陳素瓊等人 (2000)	柑橘鳳蝶的最佳飼養溫度為攝氏25度。

四、研究架構



(圖片來源:自行繪製)

貳、研究設備及器材

(圖片來源:皆自行拍攝)

			
蟲飼養盒 23 * 15 * 15 (cm)	昆蟲網箱 80 * 30 * 30 (cm)	盆栽網室 60 * 60 * 90 (cm)	溫濕度計 EDISON EDS-A10
			
食草植物	蜜源植物	平方公格板	尺
			
微距顯微鏡 W05A	兒童顯微鏡相機 兒童 STEAM 探索系列-LJ	相機 SONY ZV-1	小型攝影棚 25 * 25 * 25 (cm)
	手機 APP(Pixur)		果乾機 Frigidaire FKD-3501BC


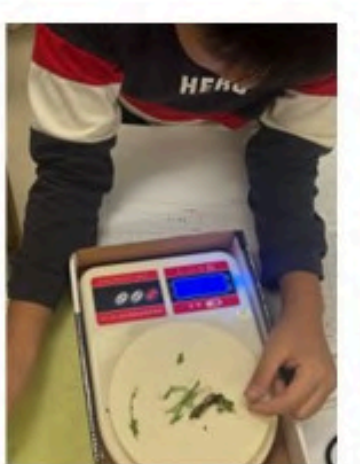









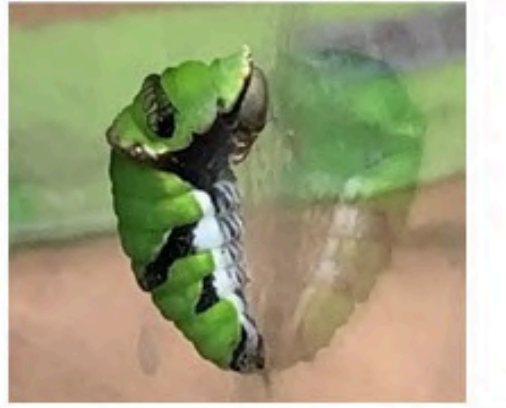

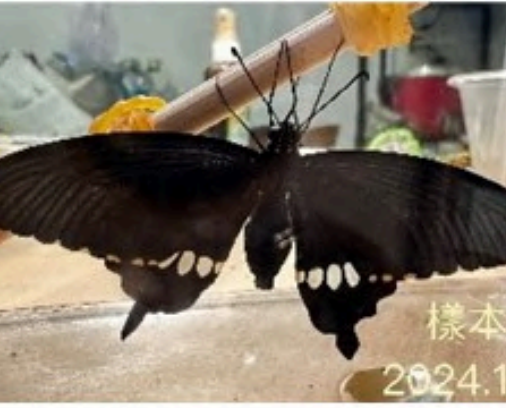
參、研究過程、結果與討論

研究一、觀察玉帶鳳蝶的生活史

在飼養的三批樣本中，我們一開始很疑惑每批先羽化的都是雄蝶，所以開始記錄每批樣本(同一親代所產下的子代)羽化的時間，發現雄蝶會比雌蝶早3-5天羽化(在野外會回提前飛離食草區)，我們推測他們是為了防止近親交配。


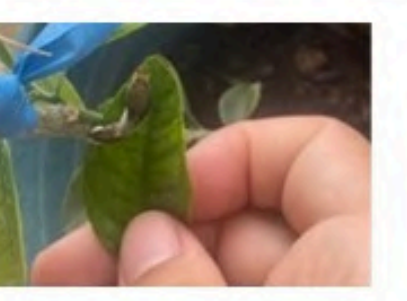

問題一：如何減少人工飼養玉帶鳳蝶的死亡率？

因為在飼養第一輪22隻樣本，有11隻樣本在幼蟲時期死亡，死亡率為50%。透過連續飼養與觀察，我們記錄了玉帶鳳蝶從卵期、幼蟲期、前蛹、蛹到成蝶的各個階段(如圖4-1)，並詳細紀錄其體長、體色變化、行為模式與蛻皮過程。從二齡幼蟲開始就具備有吐絲固定、伸出臭角禦敵、吃掉自己蛻下的皮、再化蛹前會不停地扭動身軀等多樣生活行為(如圖4-3)。

					
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
▲圖3-1 觀察紀錄流程 (a)清理飼養盒; (b)將飼養盒裡的葉子秤重; (c)將葉片水份擦乾淨，並將葉子從莖上拔下，秤7公克放入; (d)用放大鏡觀察幼蟲外觀(顏色、花紋)，以及糞便的多寡; (e)用尺量幼蟲的身長; (f)寫觀察記錄表。(圖片來源：自行拍攝)					
					
4-5 天 直徑約 1.2 mm	一齡蟲(約 3-5 天) 體長約 0.6 cm	二齡蟲(約 5 天) 體長約 1.3 cm	三齡蟲(約 5 天) 體長約 1.7 cm		
					
四齡蟲(約 5-7 天) 體長約 2.5 cm	前蛹(約 1 天)	蛹(約 7-10 天) 體長約 3 cm	成蝶(約 12-18 天) 體長約 7.5-8 cm		

▲圖4-1 玉帶鳳蝶成長紀錄表 (圖片來源：自行拍攝)

型態 照片	擬態型(雌)	非擬態型(雌)	非擬態型(雄)
			
			
描述	蝴蝶尾部會擁有明顯的亮橘色的斑點。	背部有細微紅橘色的眼型斑紋，只有雌蝶專有的。	全身呈現烏黑亮麗的黑色，背部沒有橘色斑點。
▲圖4-2 樣本羽化型態紀錄表 (圖片來源：自行拍攝)			

照片	行為描述
	在二齡幼蟲就有臭角，以及在前蛹期禦敵也會伸出臭角。幼蟲若一直伸出臭角也會耗盡太多體力。
	
	
	我們在利用微距顯微鏡觀察幼蟲時發現，四齡幼蟲背上有類似脈搏的跳動，我們查詢資料後發現那是幼蟲如血管般長條的心臟。
	
	幼蟲在啃食葉片後，用大顎咬身後的排泄物，將其甩出，約三-四顆約3-4顆糞便的量。
	
▲圖4-3 玉帶鳳蝶生長紀錄表 (圖片來源：自行拍攝)	

研究二、研究玉帶鳳蝶幼蟲對植物葉片的偏好種類

問題一：飼養一隻玉帶鳳蝶幼蟲需要多少食草的數量？

我們也發現幼蟲在吃葉片時，不會將一片葉子啃食乾淨才換下一片，常常只吃不到三分之二就換下一片，所以在飼養時需要較多食草數量才能養活一隻玉帶鳳蝶幼蟲。

問題二：玉帶鳳蝶幼蟲對於食草是否有喜好？

根據實驗結果顯示，食草被幼蟲選的數量由多至少為：橘子葉有16隻、柚子葉5隻、過山香2隻、飛龍掌血2隻，另外5隻在記錄時尚未做出選擇。在控制葉片大小與新鮮度的條件下，進行六次的實驗，結果顯示幼蟲對橘子葉的偏好明顯高於柚子葉、過山香與飛龍掌血。但因幼蟲個體不同，選擇上也會有差異，會造成實驗結果的誤差。

研究三、分析玉帶鳳蝶幼蟲外觀與成蝶型態的關係

問題一：是否能從鳳蝶一至三齡時幼蟲的外觀來分辨成蝶的種類？

臺灣鳳蝶和大鳳蝶皆有會有抬頭搖擺禦敵的行為。當有感受被侵犯或不舒服的時候，牠會警覺抬頭的環視目前的環境是否安全。在觀察鳳蝶二至三齡幼蟲時，牠們體色變化和身上呈現的斑紋位置，可以用肉眼觀察辨識未來成蝶種類(如圖4-10)。

研究顯示可以用肉眼明先分辨出無尾鳳蝶、玉帶鳳蝶的幼蟲，牠們在背部的V型斑紋上呈現明顯的不同(如圖4-10)，台灣鳳蝶與大鳳蝶的二至三齡幼蟲體色較玉帶鳳蝶與無尾鳳蝶不同，但在右二至三齡時期難以分辨大鳳蝶與台灣鳳蝶二至三齡幼蟲的差異。

初步發現二至三齡幼蟲尾部斑紋預測其成蝶型態（擬態型或非擬態型），結果顯示進入四至五齡期後外觀趨於一致，目前羽化的研究樣本目前數量不多，未來會拉長時間增加樣本數量繼續研究。

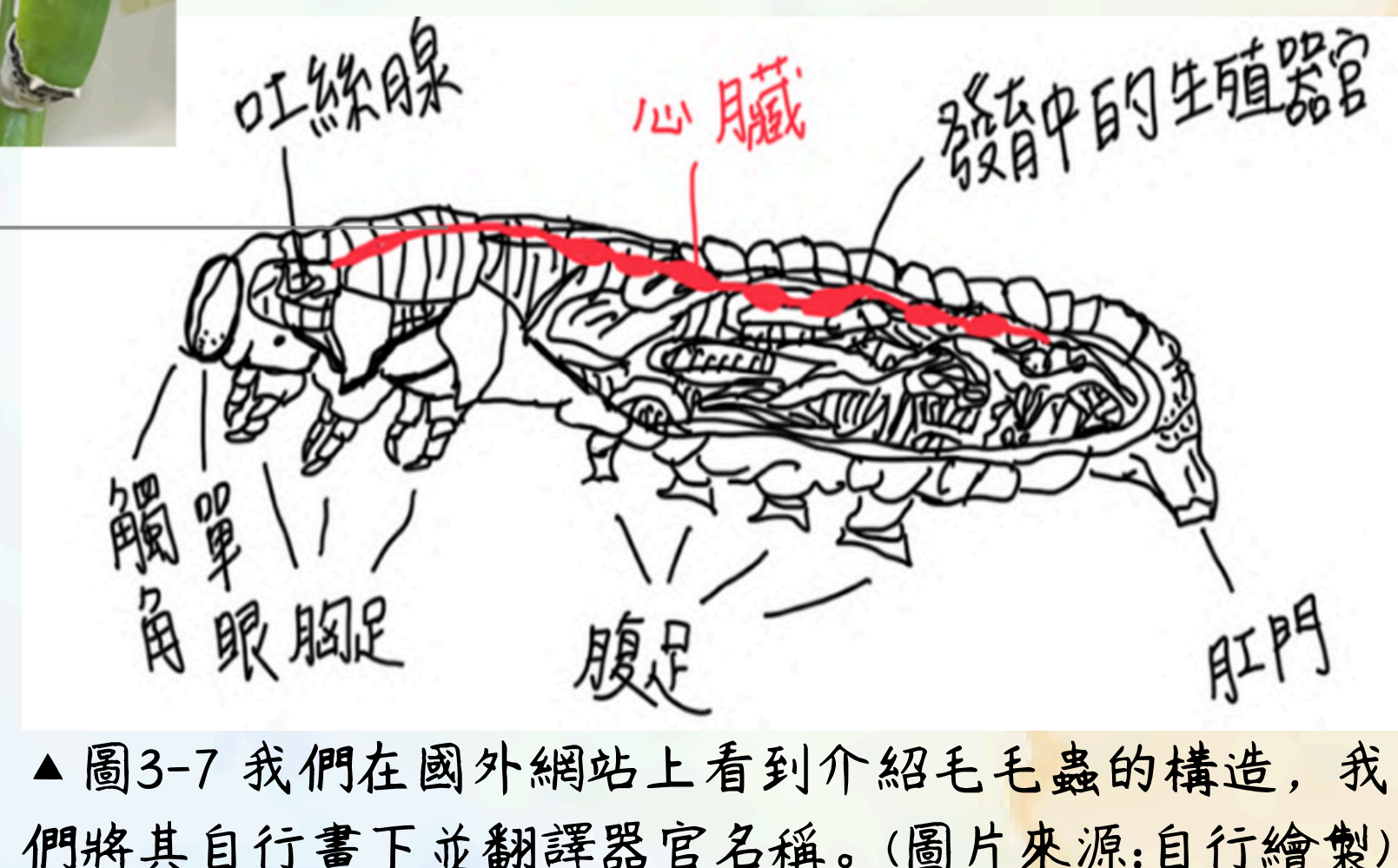
問題二：是否玉帶鳳蝶成蝶型態在幼蟲時外觀就可以辨別？

玉帶鳳蝶幼蟲在一至三齡時，我們根據尾部的斑紋將幼蟲分為兩種：尾部有明顯兩條線的幼蟲、尾部僅有一條線的幼蟲(如圖3-1)，我們推測這是否會和幼蟲的型態有關，但是不管是有兩條線或一條線的幼蟲，到了等到四至五齡時，外觀幾乎長得一模一樣，完全無法分辨型態(如圖3-1)。

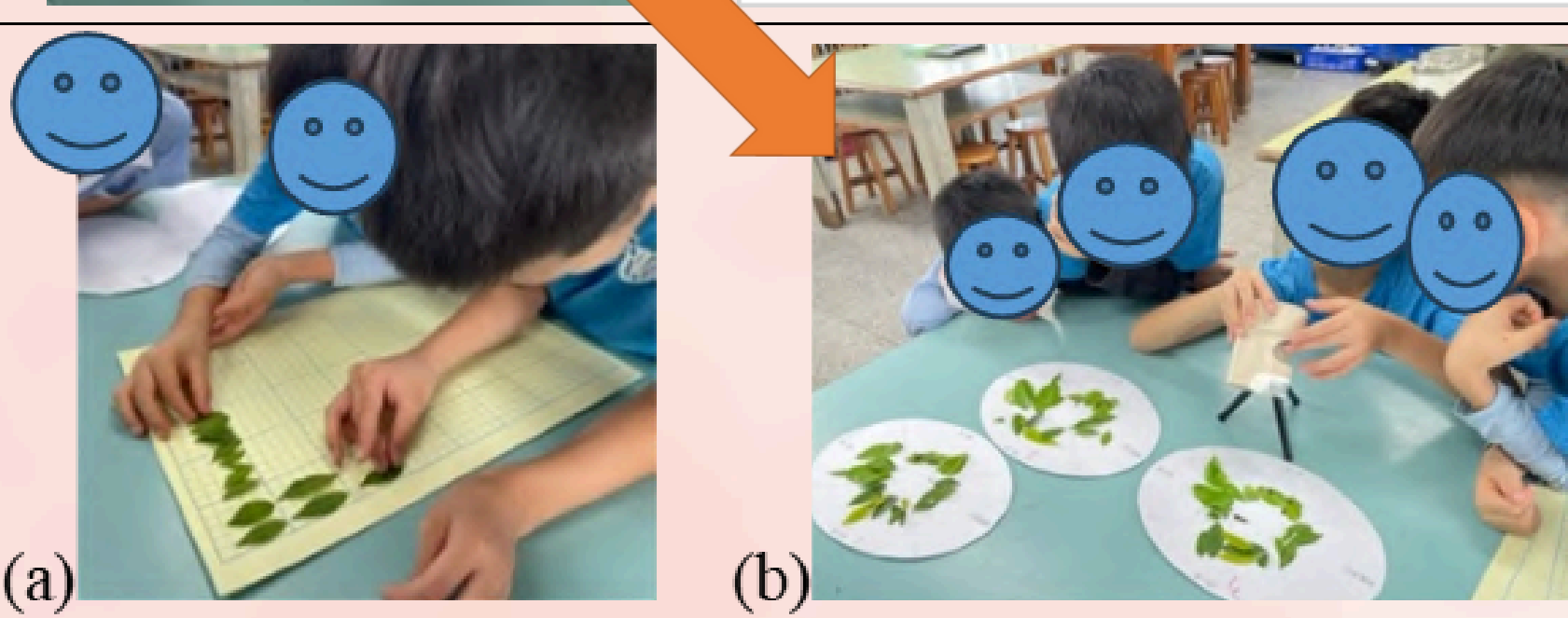
二至三齡幼蟲長大後，他們會經過一次的脫皮，就會變成四至五齡幼蟲。這時牠們的外觀會轉成青綠的顏色，而身上的斑紋也會很相似，很難辨別出他們斑紋細微的變化。

問題三：是否從玉帶鳳蝶幼蟲外觀可以辨別性別？

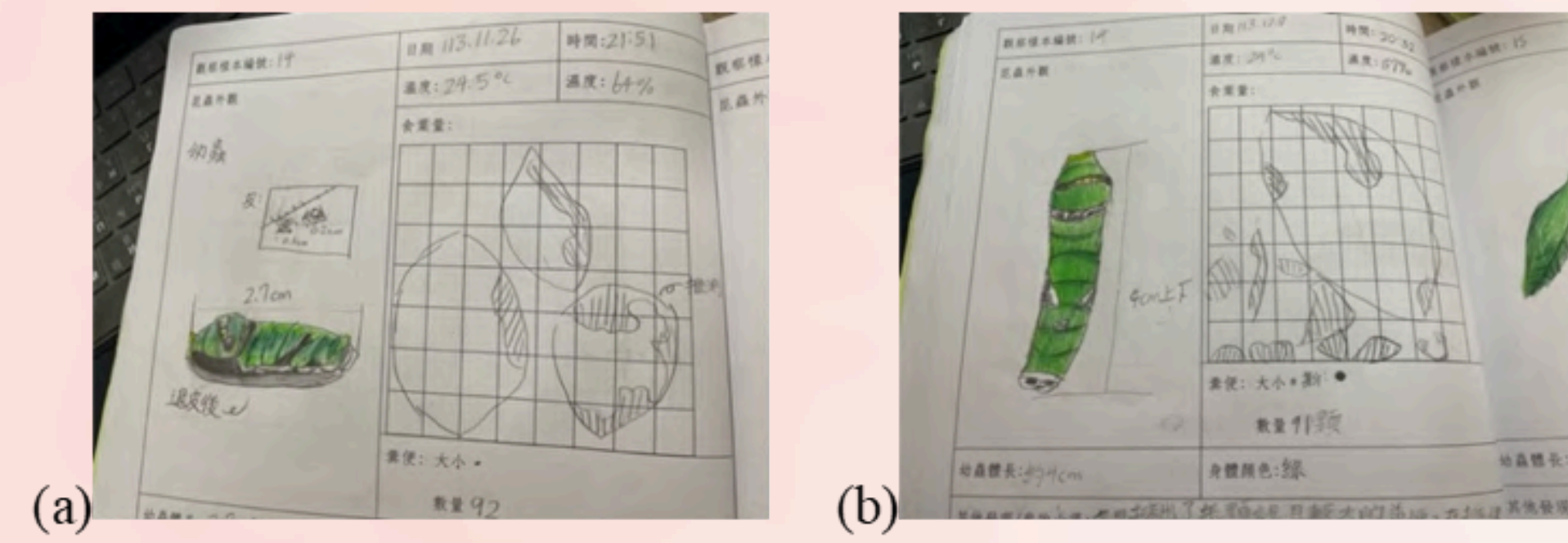
我們利用手電筒的光由四齡幼蟲腹部往背部照射，用肉眼找尋腰部的兩個黑點(如圖3-6)，推測為四齡幼蟲未發育完全的精巢器官，我們觀察到的五支具有未發育完全的精巢器官的雄蝶中四隻成功羽化為雄蝶，一隻未成功羽化。



→圖4-6幼蟲每日平均食葉量長條圖(單位:公克)(圖片來源:自行繪製)



▲圖 3-5 (a)利用平方公格板計算葉子的面積。(b)平均分配到每片實驗記錄表上。（圖片來源：自行拍攝）



▲圖 3-4 (a)(b)記錄表中，我們會在餵食前先將摘下的葉片輪廓畫下來，再下次紀錄時畫出被啃食的面積。（圖片來源：自行拍攝）

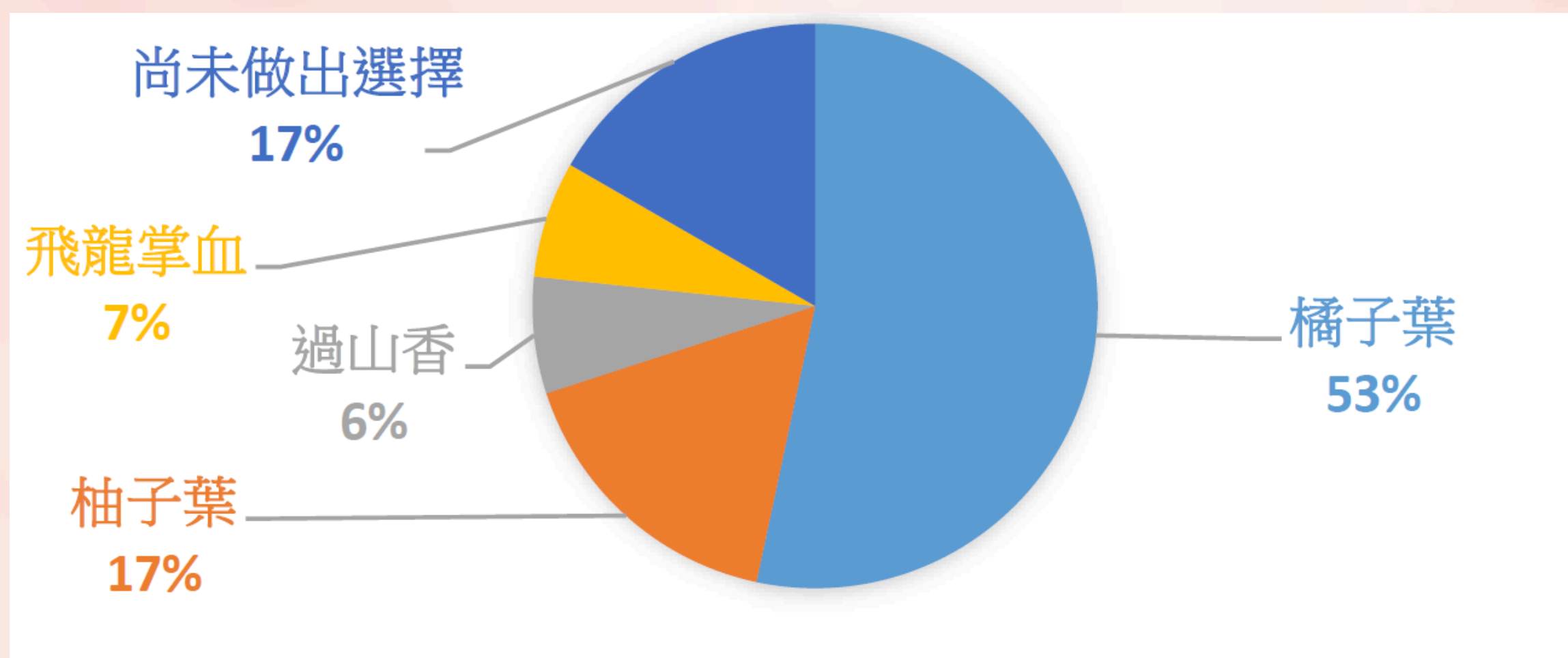


圖4-9玉帶鳳蝶幼蟲食草喜好實驗數據圓餅圖（圖片來源：自行繪製）

研究四、研究玉帶鳳蝶幼蟲的體色與食草種類的關係

問題一：食草的顏色是否會影響四齡幼蟲的體色？

第一次實驗

根據亮度數據解讀：亮度（Brightness）指色彩的明亮度，取值範圍0~100%，亮度為0時即黑色。我們在本次實驗中可發現幼蟲在吃檸檬葉時，體色的亮度都維持在10以上。改餵食金桔葉後，大部分幼蟲體色的亮度就會掉到10以下，甚至2或3(如圖4-12)。由此可證幼蟲食草的顏色會影響幼蟲顏色。

我們也有發現不一定每隻幼蟲都是如此，有些幼蟲吃了顏色較深的金桔葉後，體色的亮度依舊維持在10以上。我們推測跟幼蟲食用量有關係。因為在更換食草後，我們發現2-3隻四齡幼蟲會有拒食的現象。

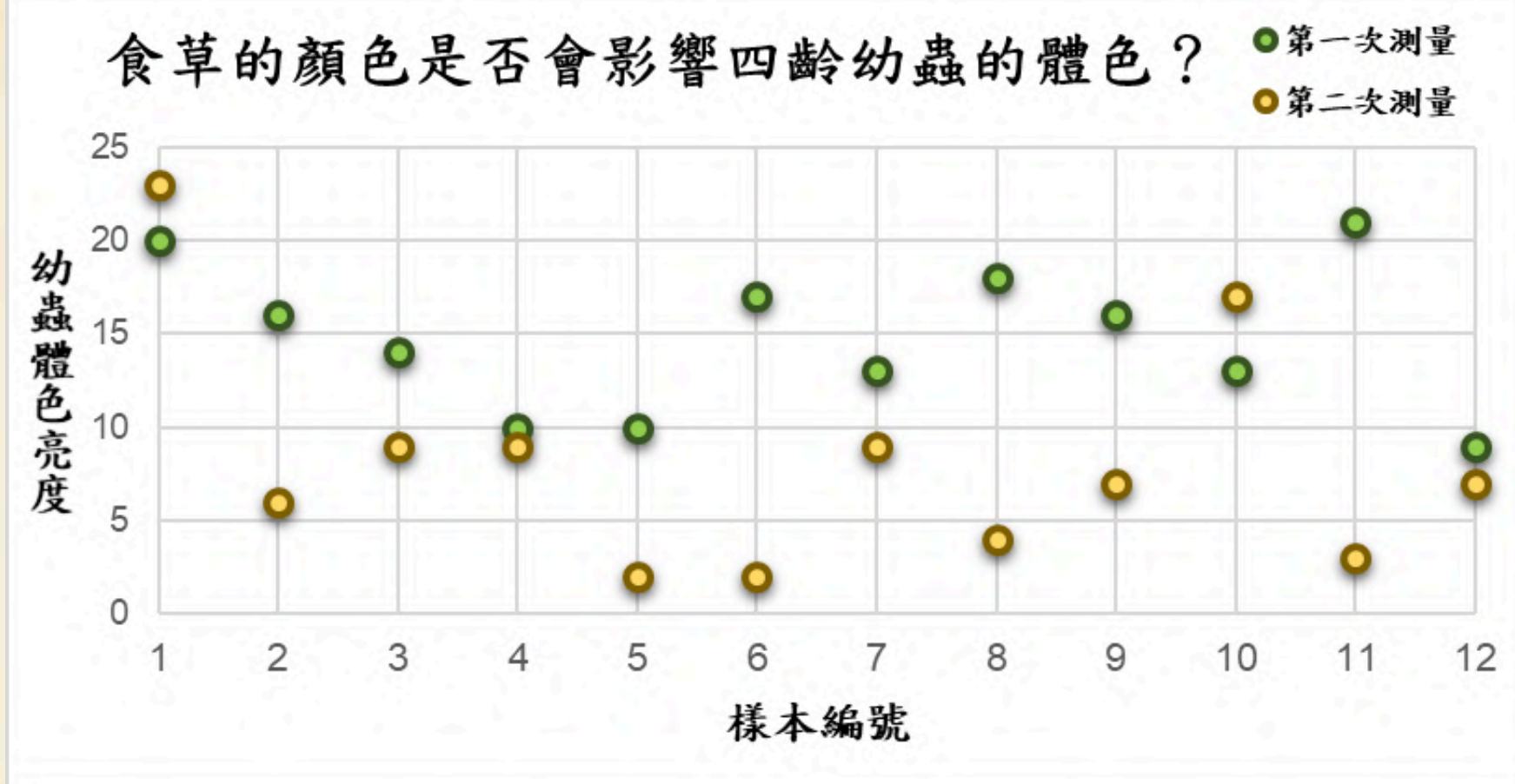
第二次實驗

實驗結果顯示，幼蟲體色亮度會受到所攝取葉片顏色影響：餵食淺綠色的檸檬葉會使體色偏亮，而餵食深色的金桔葉則體色偏暗。此外，第二次實驗顯示幼蟲體色的「色相值」與葉片色相呈正相關(如圖4-13)，顯示其體色可能具有偽裝功能，與食草環境有顯著關聯。



圖 3-10 (a)先用相機及攝影棚控制光源(b)我們摘取四齡幼蟲正在食用的食草一起拍照。

(c)(d)用手機軟體測量幼蟲體色及食草顏色，獲得數據。（圖片來源：自行拍攝）



▲圖4-12幼蟲體色亮度實驗數據圖（圖片來源：自行繪製）

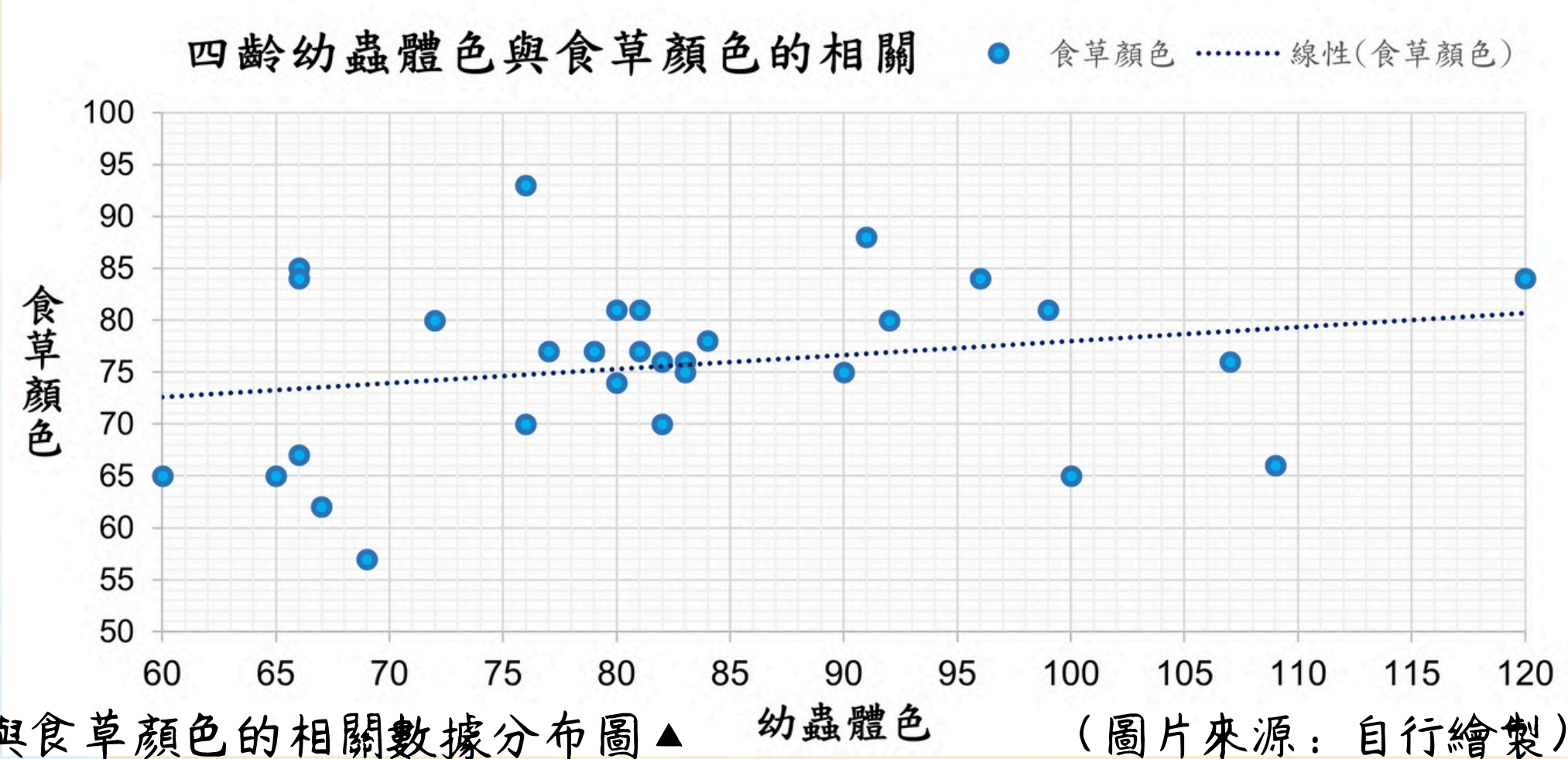


圖4-13四齡幼蟲體色與食草顏色的相關數據分布圖▲幼蟲體色（圖片來源：自行繪製）

研究五、研究玉帶鳳蝶貝氏擬態是否能降低天敵捕食風險

問題一：貝氏擬態的成蝶是否較能躲過鳥類的襲擊？

第一、二次實驗

在這個實驗過程，我們討論出先用透明片、輕黏土、油土及鐵絲做出假的鳳蝶模型(如圖3-11)，但是鳥或許只愛吃活體，且做出的假蝴蝶和真的蝴蝶很難完全相似，我們下次可以用標本來做實驗。我們做實驗的時間為放學，此時在校園內無法避免會有其他學生走動，影響鳥的警覺心，下次可以利用假日。

我們發現鳥類是很難掌握的實驗因素，所以較難達我們預設的目的，且實驗時正值冬天，或許我們可以在天氣較溫暖時在公園或農場利用盆栽和標本進行實驗。也可以嘗試把小鳥喜歡的食物放旁邊，例如:小米、蚯蚓、花草、堅果，成功率應該會比較高。

第三次實驗

貝氏擬態的捕食實驗中，我們在室內雞舍和戶外雞舍中選擇戶外雞舍做實驗(如圖3-14)，是考量到放養的雞群應該有比較多的機會有看過蝴蝶，但也有可能因為不認識玉帶鳳蝶和紅紋鳳蝶，而雞無法辨認，也無從學習過貝氏擬態，所以並無興趣。

三輪實驗後，我們詢問雞舍主人是否看過雞吃蝴蝶，主人回答說：有看過雞抓正在飛的蝴蝶來吃，現場也約莫有2-3隻紋白蝶飛舞，但我們並未觀察到啄食的部分。

因為我們很想了解雞會吃蝴蝶標本嗎？所以我們將無尾鳳蝶的標本丟入肉雞的飼養區，雞舍主人表示肉雞非常愛吃東西可以試試看，肉雞很快聚集在標本旁，但啄一次後就離開甚至踩踏蝴蝶標本表示沒有任何興趣。



圖 3-11 (a)



圖 3-12 (b)

◀圖 3-11 (a)我們製作紅紋鳳蝶(左下)、擬態型玉帶鳳蝶(右上)、非擬態型玉帶鳳蝶(右下)。圖 3-12 製作標本流程：(a)先將之前自然死去的蝴蝶屍體退冰 20 分鐘後，用大頭針在珍珠板上固定。(圖片來源：自行拍攝)



(a)



(b)

◀圖 3-13 (a)(b)我們將蝴蝶標本利用雙面膠固定在矮仙丹花樹上，並等待 30 分鐘。(圖片來源：自行拍攝)



(a)



(b)



(c)

▲圖 3-14 (a)場地圖 (b)室內養殖區 (c)戶外圈養區(圖片來源：自行拍攝)



(a)



(b)



(c)

圖 4-15 (a)將蝴蝶標本放在大型巧拼上，並用圓點貼紙分別標示擬態型與非擬態型玉帶鳳蝶。(b)因為雞的警覺較高，我們架設攝影機後，退到門後觀察。(c)雞都只有觀望，未啄食蝴蝶標本。(圖片來源：自行拍攝)

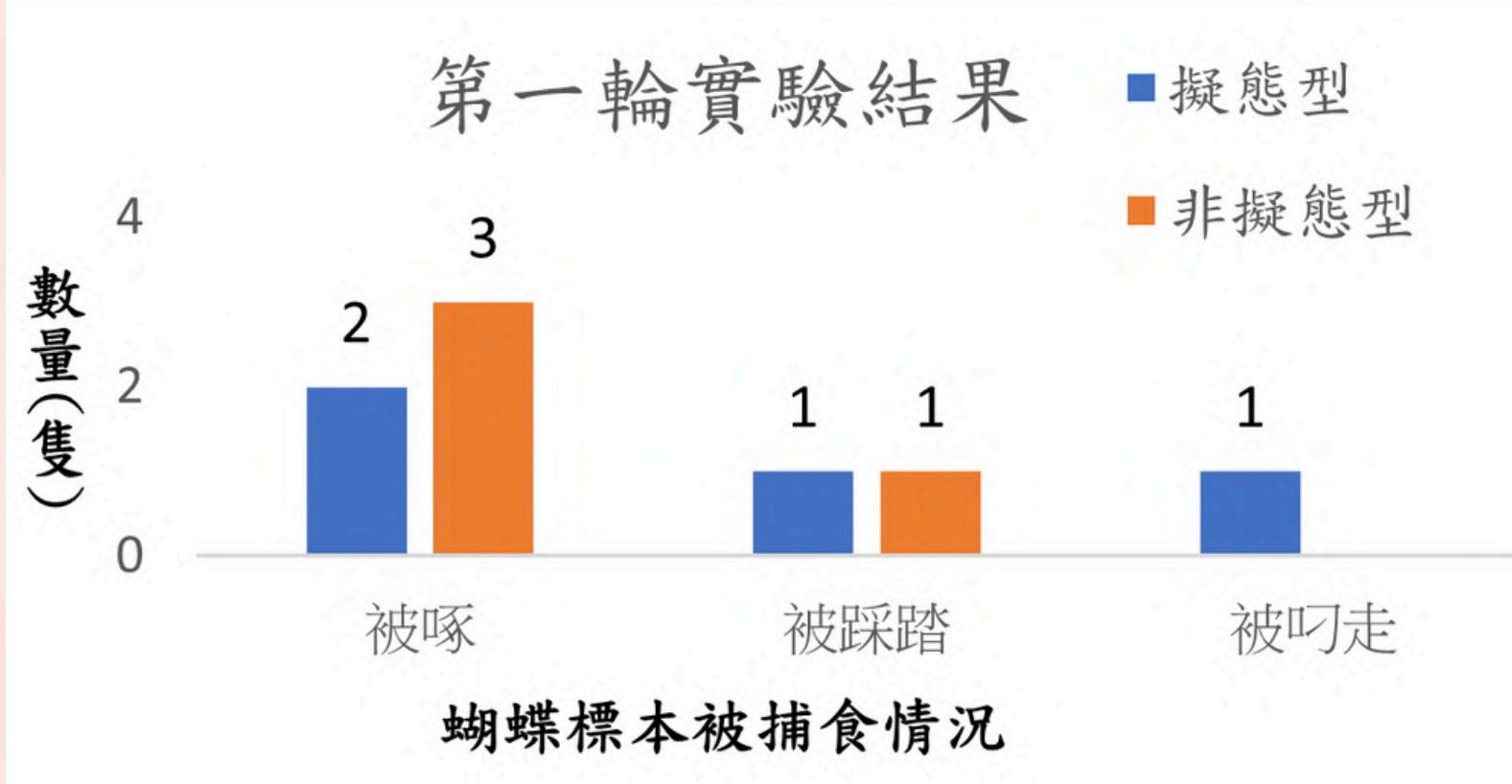


圖4-14 第一輪掠食者捕食鳳蝶標本實驗結果長條圖(圖片來源:自行繪製)

研究六、規劃玉帶鳳蝶校園復育方案

因我們的校園要建置蝴蝶網室不易，且我們校園位於市中心，周邊車水馬龍，我們尋覓到校園高樓層的教室有設置隱形鐵窗(如圖4-18)，認為可以防止鳥類進入，保護蝴蝶幼蟲。在教室陽台也方便我們觀察及照料植物。於教室陽台設置復育區，種植金桔、胡椒木與阿勃勒等寄主植物及馬纓丹等蜜源植物，成功吸引蝴蝶訪花與產卵(圖4-21)，並記錄到各種昆蟲來訪的紀錄(如圖4-19)。我們也討論到鳳蝶幼蟲對於當地經濟作物的損益是否有影響，當地有柚子、柳橙等鳳蝶食草的作物，但評估後與學校位置相距10公里以上，不會造成果農的損失。我們的鳳蝶復育區即使位於市中心，只要環境合宜，仍具備推動蝴蝶復育與生態教育的可行性。



(a)



(b)

◀圖 4-18 (a)(b)隱形鐵窗的鐵線間隔 5 公分，鳥類不易進入。(圖片來源：自行拍攝)



(a)



(b)



(c)

圖 4-21 復育區植物葉背的蝴蝶卵 (a)胡椒木 (b)金桔樹(c)阿勃勒 (圖片來源：自行拍攝)

結論

本研究以玉帶鳳蝶為主題，從飼養玉帶鳳蝶幼蟲開始觀察，閱讀文獻探討與發想實驗設計，深入分析玉帶鳳蝶在不同成長階段之生理特徵與生態行為。首先，在生活型態的觀察中，我們記錄了玉帶鳳蝶自卵至成蝶的變化過程，並發現幼蟲具備吐絲固定、自我防衛等行為，也觀察到玉帶鳳蝶同一親代所生的子代，雄蝶會比雌蝶先羽化，避免近親交配。

在食草偏好方面，我們發現二至三齡幼蟲對橘子葉具有顯著偏好，提供了未來飼養時的參考依據。透過與無尾鳳蝶、大鳳蝶與台灣鳳蝶二至三齡幼蟲外觀比較，初步建立了分辨依據；並嘗試是否能從二至三齡幼蟲尾部的紋路預測成蝶的擬態型態，雖尚未發現明確外觀指標，但手電筒透視法檢查精巢的方式初步可辨識雄性幼蟲。

針對體色與食草關係的研究中，我們發現幼蟲體色受葉片顏色顯著影響，色相值與食草呈現正相關，可能與偽裝能力有關。至於擬態對天敵的防禦功能，在三次擬態實驗中未觀察到明顯差異，可能受到實驗環境、捕食者種類及時間限制影響，未來可持續設計與觀察條件。

最後，我們亦在校園設置蝴蝶復育區，成功吸引蝴蝶訪花與產卵，驗證都市環境中亦可建構蝴蝶生態棲地，兼具教育與保育意義，因為了解玉帶鳳蝶的飼養不容易，加深我們對SDGs陸域生態保護的意念。

參考文獻資料

邱奕霖(2015)。光週期對淡紋青斑蝶(Tirumala limniace limniace(Cramer))和玉帶鳳蝶(Papilio polytes polytes L.)發育之影響(學士論文)。宜蘭大學園藝學系。

巫家豪、潘崧傑、陳雨柔、王尚益(2005)。探討以芸香科(Rutaceae)植物為食之六種鳳蝶研究。南投縣立宏仁國民中學，第45屆全國中小學科展。

潘祈歡、朱祁源、黃天佑、吳宗翰(1988)。揭開無尾鳳蝶的秘密。台北縣實踐國民小學，第38屆全國中小學科展作品。

蕭惠文(2006)。台灣玉帶鳳蝶及其寄主植物之研究(碩士論文)。國立嘉義大學森林暨自然資源研究所。<https://hdl.handle.net/11296/wxuu7u>

譚文皓、謝巧萱、王崴弘、陳思潔(2004)。戀戀鳳蝶 大鳳蝶化蛹之謎。台北縣永和市網溪國民小學，第43屆全國中小學科展。

譚文皓、謝巧萱、陳堯睿、陳芊良(2004)。食柑橘屬(Citrus spp.)植物的七種鳳蝶之幼蟲形態比較。臺北縣立福和國民中學，第44屆全國中小學科展。

陳素瓊、王俊凱、蘇慧珊、楊景堯、鄭韋佑(2000)。溫度對玉帶鳳蝶(Papilio polytes pasikrates Fruhstorfer)發育之影響。宜蘭技術學報，頁 35-43。

呂至堅、陳建仁(2014)。蝴蝶生活史圖鑑。晨星出版社。P58。

張永仁(2023)。蝴蝶100生活史全圖鑑(第32-33頁)。遠流出版社。