

# 黑鳳蝶的飼育與半合成人工飼料的研發

## 摘要

本試驗重點在研發黑鳳蝶 (*Papilio protenor protenor* Cramer) 的半合成人工飼料，因此以天然寄主植物文旦 (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) 葉片飼育為對照組，比較實驗組的半合成人工飼料對本種生長發育的影響，探討此人工飼料配方之可行性。本試驗在網室內採黑鳳蝶當日產卵，置於 $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ ， $80\pm 5\%$  RH，光週期14L:10D條件的生長箱中，採用單隻飼育方式，分別以半合成人工飼料和文旦葉片餵飼剛孵化的黑鳳蝶幼蟲至羽化為成蝶。試驗結果顯示，從剛孵化的一齡幼蟲生長發育至羽化成蝶的存活率，實驗組為20.0%，較對照組的69.5%低；平均發育日數，實驗組為48.23日，比對照組的44.75日長約4日，以半合成人工飼料飼育的各蟲期存活率較低且所需發育日數較長。各齡期幼蟲頭殼寬度實驗組均大於對照組，兩組幼蟲的頭殼寬度皆隨齡期增長以平均約1.49倍呈等比增加，且幼蟲頭殼寬度的常用對數與齡期間呈迴歸直線關係，符合戴爾法則。本種第一齡和第二齡幼蟲的體長，對照組大於實驗組，但第三齡至第五齡則相反。由此可知，本試驗研發的半合成人工飼料配方可供黑鳳蝶從一齡幼蟲成長至羽化為成蝶，但因存活率偏低，未來應以此為基礎加以改進。

**關鍵詞：**黑鳳蝶、半合成人工飼料、文旦、存活率。

## 前言

黑鳳蝶 (*Papilio protenor protenor* Cramer)，英名為 Spangle 或 Spangle butterfly，屬於鱗翅目 (Lepidoptera) 鳳蝶科 (Papilionidae) 鳳蝶屬 (*Papilio*)，又稱為藍鳳蝶、無尾黑鳳蝶 (徐，1999) 或黑揚羽蝶。分布範圍包括日本中部、韓國南部、中國南部、緬甸、錫金至喀

什米爾的喜馬拉雅及臺灣等地（濱野，1987；徐，1999）。黑鳳蝶因翅面黑色而得名（何和張，1998），為臺灣常見的中大型鳳蝶之一，除了冬季以外，其他季節都可見到成蝶，屬於多世代性且世代重置（徐，1999）。在臺灣本島平地和低、中海拔山區，離島蘭嶼、綠島、龜山島、澎湖，以及金門、馬祖地區均有發現記錄（陳，1974；張和蔡，1984；濱野，1987；李和王，1995；王和李，1998；徐，1999）。

本種為取食芸香科(Rutaceae)鳳蝶中食性最廣的物種(徐，1999)，寄主植物包括多種柑橘屬(*Citrus* spp.)植物、石苓舅(*Glycosmis citrifoli*)、山黃皮(*Murraya euchrestifolia*)、臺灣黃蘗(*Phellodendron wislsonii*)、烏柑仔(*Severinia buxifolia*)、阿里山茵芋(*Skimmia arisanensis*)、賊仔樹(*Tetradium glabrifolium*)、飛龍掌血(*Toddalia asiaticae*)、食茱萸(*Zanthoxylum ailanthoides*)、雙面刺(*Z. nitidum*)、蜀椒(*Z. piperitum*)及野花椒(*Z. simulans*)等(李和王，1995；1997；2002；李和張，1988；何和張，1998；趙和王，1996；1997；徐，1999)。由於這些植物大部分具有經濟價值，黑鳳蝶以往被歸類為經濟害蟲之一，但並無統計資料指出其造成為害損失程度。

近年來，由於生態保育觀念已逐漸深植人心，臺灣已將許多種種昆蟲轉型為發展生態旅遊休閒觀光的要角，黑鳳蝶也被納入其中，成為休閒蝴蝶園的飼養蝶種之一，但均採用種植天然寄主植物及蜜源植物，引誘蝴蝶前來產卵繁殖和訪花吸蜜，仍未見發展人工飼料大量飼育的案例。探究原因係蝶類的人工飼料研發較蛾類困難，然而日本早已發表與黑鳳蝶同屬的柑橘鳳蝶(*Papilio xuthus*)和大鳳蝶(*P. memnon*)半合成人工飼料飼養的研究(Singh, 1977)，因此本試驗重點在於黑鳳蝶的飼育方法和開發半合成人工飼料配方，以期應用於大量飼養繁殖技術。

## 材料與方法

### 一、供試蟲源及飼養方法

自宜蘭縣礁溪鄉跑馬古道採集黑鳳蝶雌、雄成蟲，攜回國立宜蘭

大學園藝學系的簡易網室（長 6.3 m、寬 2.4 m、高 1.85 m）飼養，網室內放置馬纓丹（*Lantana camara* L.）、繁星花（*Pentas lanceolata* Deflers）、馬利筋（*Asclepias curassavica* L.）、長穗木（*Stachytarpheta jamaicensis* L.）等蜜源植物和芸香科寄主植物，供成蝶吸蜜、求偶、交配及遮陰避雨，雌蝶產卵和幼蟲取食等，以此方式累代繁殖三代以上，作為本試驗供試蟲源。

## 二、供試用寄主植物

試驗前先自宜蘭縣青果合作社購買 50 株芸香科（Rutaceae）柑橘屬（*Citrus* spp.）的寄主植物文旦（*C. grandis* (L.) Osbeck）實生苗，種植於 10 吋盆中，將盆栽置放於室外，每日澆水照護，約一至二星期就以花寶施肥一次，待其生長至高約 120 cm，含約 50-80 片葉片時即可用於試驗。

## 三、半合成人工飼料

本試驗所用的半合成人工飼料，先採摘適量的文旦葉片擦拭乾淨後，經冷凍乾燥處理至完全乾燥，再以碎粉機磨成粉狀備用。半合成人工飼料配方主要參考大琉璃鳳蝶（*Papilio paris nakaharai*）和玉帶鳳蝶（*P. polytes pasikrates*），以及 Nagasawa and Nakayama (1969) 的配方改良調製而成，放入冰箱冷藏備用。

## 四、半合成人工飼料與文旦葉片的飼育影響

試驗當日先將一盆檢視過不含其他生物的文旦盆栽（株高約 120 cm，含 50-80 片葉片）置於簡易網室內供本種雌蝶產卵，1 小時後在網室內採集黑鳳蝶當日產卵葉片攜回實驗室，將葉柄以棉花裹住，加水保鮮，然後放入前述有透氣孔盒蓋的圓形半透明塑膠盒內，移至  $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ ， $80\pm 5\%$  RH，光週期 14L:10D 條件的生長箱中，每日觀察，俟卵孵化即以毛筆將一齡幼蟲移至小型圓形透明塑膠盒（盒口直徑 4 cm、底部直徑 3 cm、高 2.5cm，容量約 20 cc）內，蓋上中間開了  $0.3\times 0.6\text{ cm}^2$  長

方形孔洞且粘貼上一層細尼龍網以利流通空氣的半透明盒蓋單隻飼育，盒外註明產卵日期及編號，每日更換足夠的半合成人工飼料塊供幼蟲取食並且清理飼育容器。本實驗組的重覆數為 60 隻。

當幼蟲成長至三齡時，飼養容器更換成圓形透明塑膠盒（盒口直徑 9.2 cm、底部直徑 8 cm、高 5.8 cm，容量約 300 cc），蓋上以針刺 10 個小孔以流通空氣的透明盒蓋。飼養至四齡時，飼養容器更換成較大的圓形透明塑膠盒（盒口直徑 13 cm、底部直徑 11 cm、高 7 cm，容量約 700 cc），搭配中央開了直徑 1.4 cm 的圓形孔洞且粘貼上一層細尼龍網通氣之透明盒蓋。俟供試幼蟲化蛹後即在圓形透明塑膠盒內懸掛較粗糙之衛生紙條，以利其羽化。

另一組則以天然寄主植物文旦葉片飼育當作對照組，供試之文旦葉片於餵食當日自盆栽採下，皆先行擦拭乾淨並於葉柄包裹溼棉花保鮮處理。所用飼養容器大致與人工飼料組相同，但因整片文旦葉片放不進小型圓形透明塑膠盒，故直接採用前述飼養第三齡幼蟲用的圓形透明塑膠盒為飼養容器，但透明盒蓋改為中間開  $1.5 \times 1.5 \text{ cm}^2$  正方形孔洞且粘貼上一層細尼龍網的通氣孔取代。本對照組和前述實驗組的其他飼育條件皆相同，但重覆數僅 23 隻。每日提供足夠之文旦葉片讓幼蟲取食並且清理飼育容器，剛孵化的一齡幼蟲以嫩葉餵食，第三齡後再逐漸放入較成熟之葉片餵食。再以和半合成人工飼料組相同方式飼育至化蛹和羽化。

每日觀察記錄兩組各蟲期形態特徵及生長發育情形並製成圖表。幼蟲體長及頭殼寬之測量是以數位式游標卡尺（Mitutoyo Corp, Series 500 CD-6" CSX）進行測量；幼蟲體長是測量一般狀態下剛孵化之一齡幼蟲及剛蛻皮之各齡幼蟲的體長；幼蟲頭殼寬度則是測量各齡幼蟲蛻下之頭殼寬，其中一齡幼蟲的頭殼寬度是用解剖顯鏡目鏡中所附的微尺測量，其餘各齡幼蟲的頭殼寬度皆以數位式游標卡尺測量。

## 結果與討論

## 一、存活率

黑鳳蝶在  $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ ， $80\pm 5\%$  RH，光週期 14L:10D 的恆定條件下，以半合成人工飼料和文旦葉片分組飼養的各蟲期存活率如表 1。

表 1. 半合成人工飼料與文旦葉片飼育的黑鳳蝶存活率

Table 1. The survival rate (%) of various development stage of *Papilio protenor amaura* reared with semi-synthetic artificial diet and pomelo leaves

Life Stage	Survival rate (%) (n) <sup>1)</sup>	
	Artificial diet	Pomelo leaves
1st instar larva	100 (60)	100 (23)
2nd instar larva	26.7 (16)	95.5 (22)
3rd instar larva	100 (16)	100 (22)
4th instar larva	100 (16)	95.0 (21)
5th instar larva	100 (16)	90.0 (19)
Larval	26.7 (16)	82.6 (19)
Pupa	81.3 (13)	89.5 (17)
Larva to Pupa	20.0 (12)	69.5 (16)

1) n in parentheses is the number of observed.

試驗結果顯示，雖然配製的半合成人工飼料含有文旦葉片粉末，但僅能吸引實驗組不到 1/3 的幼蟲前來取食，未能取食的一齡幼蟲無法生存，因此二齡幼蟲的存活率僅 26.7%，但以文旦葉片飼養的對照組，二齡幼蟲的存活率高達 95.5%，兩者差距很大。然而實驗組幼蟲一旦開始取食飼料，即可正常生長發育，也會同時在飼料上取食（圖 1），因此生長至五齡的存活率皆維持 100%，除一隻失敗外皆可順利化蛹，蛹期存活計為 81.3%；對照組從三齡至五齡幼蟲的存活率依序為 100、95.0、90.0%，蛹期為 89.5%。實驗組和對照組從一齡幼蟲飼育至羽化為成蟲的存活率各為 20.0% 和 69.5%，後者幾為前者的 3.5 倍。

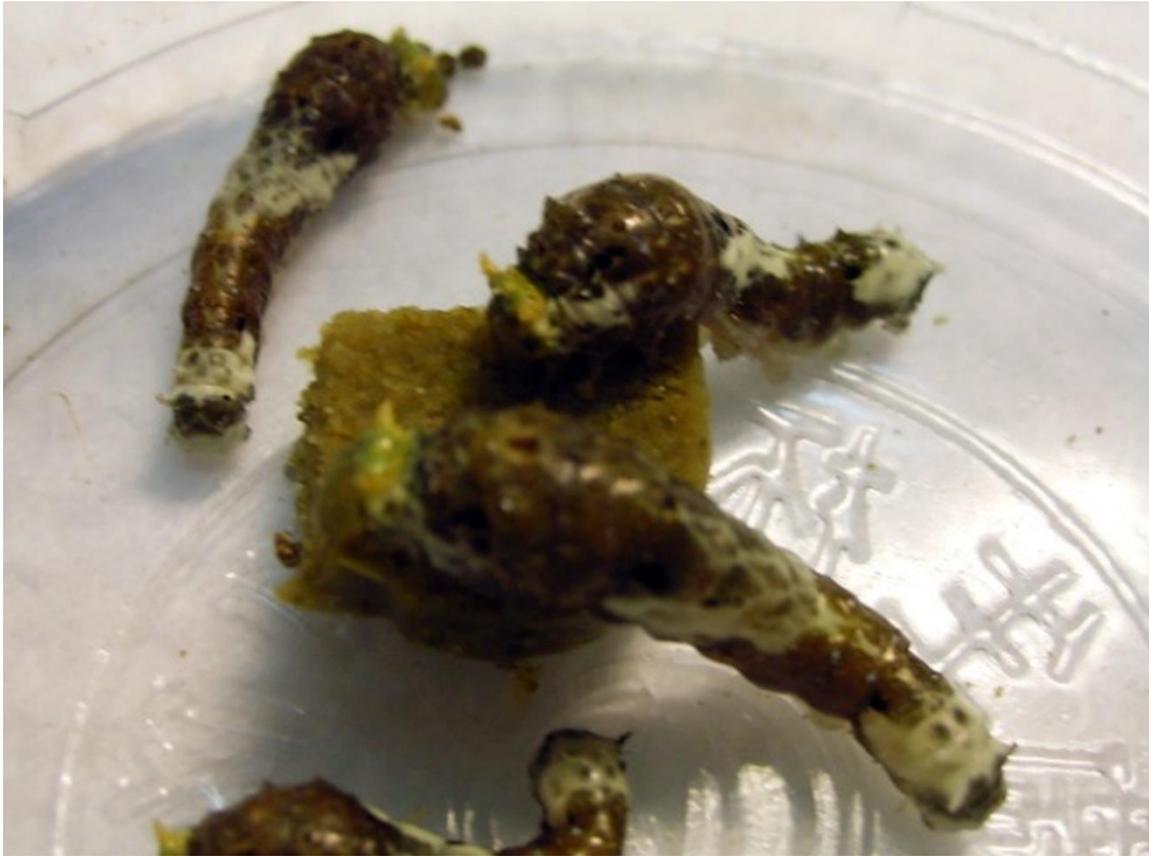


圖 1. 取食半合成人工飼料的黑鳳蝶二齡幼蟲。

Fig 1. The second instar larvae of *Papilio protenor amaura* feed with semi-synthetic artificial diet.

## 二、發育日數

以半合成人工飼料和文旦葉片分組飼養的本種各蟲期發育日數如表 2。實驗組一齡幼蟲的發育日數為 9.00 日，明顯較對照組的 4.36 日長 2 倍以上，可能是因一齡幼蟲尚在適應半合成人工飼料，因而減緩進食和成長速度。第二齡至第五齡幼蟲的發育日數，實驗組依序為 4.87、5.14、7.20、10.00 日，對照組則為 3.24、4.90、5.75、9.89 日，可知實驗組各齡幼蟲發育日數均較對照組長，因此整個幼蟲期實驗組為 35.15 日，比對照組的 29.83 日長約 5 日；兩組蛹期分別是 13.77 日和 14.69 日，從一齡幼蟲生長發育至羽化為成蝶的發育日數，實驗組需 48.23 日，對照組僅需 44.75 日，兩者相差約 4 日。

表 2. 半合成人工飼料與文旦葉片飼育的黑鳳蝶發育日數

Table 2. The developmental periods of various development stage of *Papilio protenor amauro* reared with semi-synthetic artificial diet and pomelo leaves

Life Stage	Developmental period (days) (n) <sup>1)</sup>	
	Artificial diet	Pomelo leaves
1st instar larva	9.00 (16)	4.36 (22)
2nd instar larva	4.87 (16)	3.24 (21)
3rd instar larva	5.14 (16)	4.90 (21)
4th instar larva	7.20 (16)	5.75 (20)
5th instar larva	10.00 (16)	9.89 (18)
Larval	35.15 (16)	29.83 (18)
Pupa	13.77 (13)	14.69 (16)
Larva to Pupa	48.23 (12)	44.75 (16)

1) n in parentheses is the number of observed.

李和張（1988）及白和王（1998）報導本種的幼蟲期約 30 天，蛹期約 12-16 日，在北部冬季時的蛹期約 50 日。李和王（1995）報導黑鳳蝶在夏季飼育時的幼蟲期約 30 日，蛹期約 13 日，從卵至羽化約 48 日，扣除約 5 日卵期後為 43 日，而張和蔡（1984）則認為從卵發育至羽化成蝶約需 45 日。本試驗結果，對照組的幼蟲期 29.83 日確實符合前述各報導約 30 日的發育日數，但實驗組明顯較長。兩組蛹期皆在所述 12-16 日範圍內，然而從一齡幼蟲生長發育至羽化為成蝶的發育日數，兩組均較李和王（1995）及張和蔡（1984）長。

由此可知，黑鳳蝶取食半合成人工飼料，不但存活率較低且發育日期較長，但所提供的營養可讓幼蟲順利成長羽化為成蝶。

### 三、頭殼寬度

以半合成人工飼料和文旦葉片分組飼養的黑鳳蝶各齡期幼蟲頭殼寬度如表 3。

表 3. 半合成人工飼料與文旦葉片飼育的黑鳳蝶各齡期幼蟲頭殼寬度  
Table 3. The head capsule width of each instar larva of *Papilio protenor amaura* reared with semi-synthetic artificial diet and pomelo leaves

Larval stage	Head capsule width (mm) (n) <sup>1)</sup>	
	Artificial diet	Pomelo leaves
1st instar larva	1.05 (16)	0.86 (22)
2nd instar larva	1.56 (16)	1.23 (21)
3rd instar larva	2.22 (16)	1.86 (21)
4th instar larva	3.28 (16)	2.70(20)
5th instar larva	5.19 (16)	4.27 (18)

1) n in parentheses is the number of observed.

兩組幼蟲的頭殼寬度皆隨齡期增長而增大，且增大趨勢類似。實驗組第一齡至第五齡幼蟲頭殼寬度分別為 1.05、1.56、2.22、3.28、5.19 mm、對照組依序各為 0.86、1.23、1.86、2.70、4.27 mm，由此可知，實驗組每一齡幼蟲的頭殼寬度均較對照組寬，即幼蟲取食半合成人工飼料的各齡期頭殼寬度較取食文旦葉片者大。黑鳳蝶的齡期一般分為 5 個，第五齡幼蟲通稱為末齡幼蟲，但其頭殼寬度若低於化蛹閥值時，幼蟲就不化蛹而會反覆蛻皮增加齡期，以達到此閥值。由本試驗結果可知，實驗組幼蟲頭殼寬度得超過 5.19 mm，而對照組僅需 4.27 mm 的閥值即可進入化蛹階段。因此，黑鳳蝶幼蟲的頭殼依齡期有一定的寬度。

由上述結果將各齡期幼蟲連續齡期的次一齡期與前一齡期平均頭殼寬相除，所得之比值如表 4。其中實驗組幼蟲頭殼寬度隨齡期以

1.42-1.58 倍增長，平均為  $1.49 \pm 0.05$  倍，而對照組則以 1.43-1.58 倍增長，平均為  $1.49 \pm 0.06$  倍，即兩組幼蟲的頭殼寬度皆隨齡期增長以平均約 1.49 倍呈等比增加，符合戴爾法則。

表 4. 半合成人工飼料與文旦葉片飼育的黑鳳蝶各齡期幼蟲次一齡期和前一齡期之平均頭殼寬度比

Table 4. The average ratio of head capsule width of the subsequent divided by this instar larva of *Papilio protenor amaura* reared with semi-synthetic artificial diet and pomelo leaves

Larval stage	Average ratio of head capsule width of next instar divided by this instar	
	Artificial diet	Pomelo leaves
2nd / 1st instar	1.49	1.43
3rd / 2nd instar	1.42	1.51
4th / 3rd instar	1.48	1.45
5th / 4th instar	1.58	1.58
Average	$1.49 \pm 0.05$	$1.49 \pm 0.06$

將頭殼寬度的常用對數 ( $Y$ ) 與齡期 ( $X$ ) 之關係以直線迴歸分析結果如圖 2。實驗組和對照組得的直線迴歸方程式及相關係數平均 ( $R^2$ ) 各為  $Y = -0.1549 + 0.1711 X$  ( $R^2 = 0.9979^{**}$ ) 及  $Y = -0.2489 + 0.1733 X$  ( $R^2 = 0.9983^{**}$ )，相關係數平方均高達 0.99 以上，經  $t$  測驗分析得知，均存在極顯著之正相關關係 ( $p \leq 0.01$ )，表示此兩條迴歸直線皆存在，意即本種無論以半合成人工飼料或文旦葉片飼養所得幼蟲之頭殼寬度常用對數確隨齡期增加而呈直線關係增加。由此圖亦可明顯看出兩直線幾為平行線，斜率各為 0.1711 和 0.1733，非常相近，實驗組的每一齡幼蟲頭殼寬度的常用對數均高於對照組。

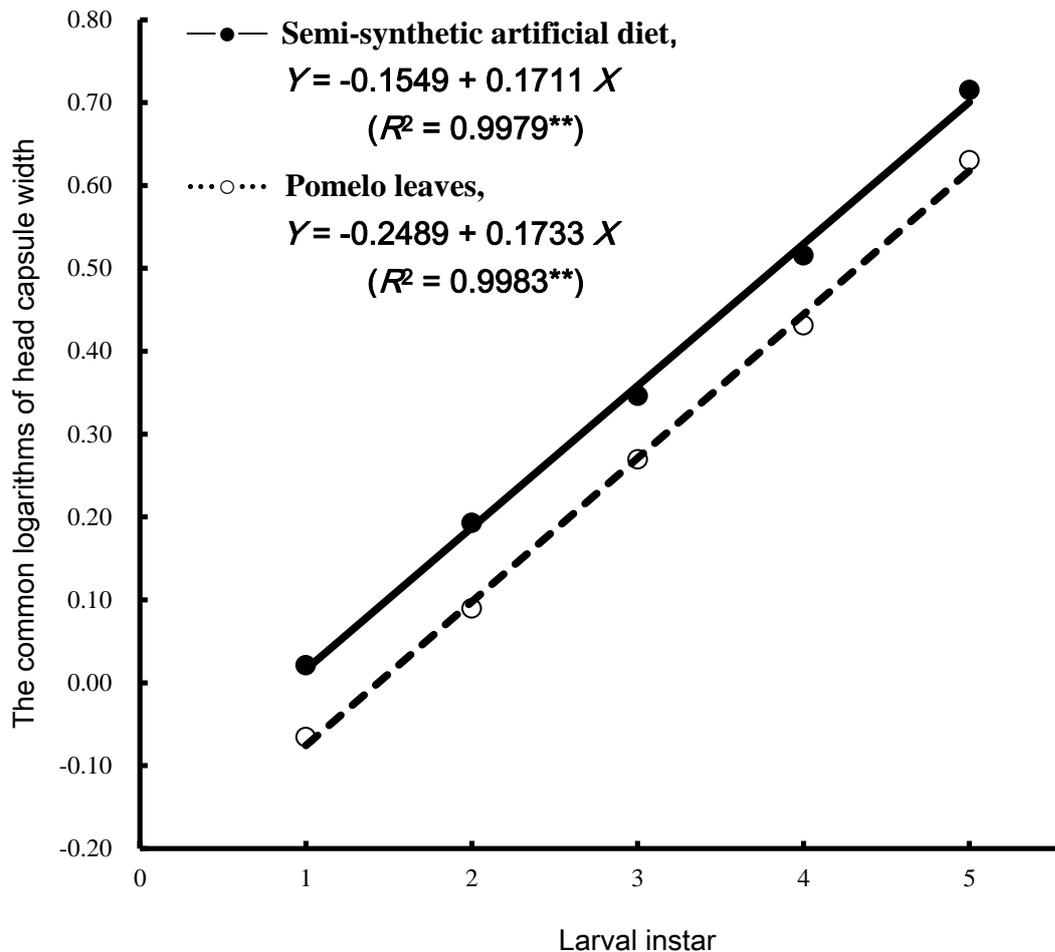


圖 2. 半合成人工飼料與文旦葉片飼育的黑鳳蝶各齡期幼蟲頭殼寬度常用對數 (Y) 和齡期 (X) 之關係 (—●— 半合成人工飼料; …○… 文旦葉片)。

Fig. 2. The relationship between the common logarithms of head capsule width of larval stage and each instar of *Papilio protenor amaura* reared with semi-synthetic artificial diet and pomelo leaves (—●— semi-synthetic artificial diet; …○… pomelo leaves).

#### 四、體長

以半合成人工飼料和文旦葉片分組飼養的本種各齡期幼蟲體長如表 5。兩組幼蟲的體長皆隨齡期增加而增長，且增長趨勢類似。實驗組第一齡至第五齡幼蟲體長分別為 3.49、6.23、10.03、15.76、26.70 mm、對照組依序各為 3.55、6.52、9.75、14.81、22.52 mm，由此可知，第一齡和第二齡幼蟲的體長，對照組大於實驗組，但第三齡至第五齡則相反。

表 5. 半合成人工飼料與文旦葉片飼育的黑鳳蝶各齡期幼蟲體長

Table 5. The body length of each instar larva of *Papilio protenor amaura* reared with semi-synthetic artificial diet and pomelo leaves

Life Stage	Body length (mm) (n) <sup>1)</sup>	
	Artificial diet	Pomelo leaves
1st instar larva	3.49 (16)	3.55 (22)
2nd instar larva	6.23 (16)	6.52 (21)
3rd instar larva	10.03 (16)	9.75 (21)
4th instar larva	15.76 (16)	14.81 (20)
5th instar larva	26.70 (16)	22.52 (18)

1) n in parentheses is the number of observed.

由試驗結果得知，實驗組的各齡期幼蟲頭殼寬度雖然均大於對照組，但第一齡和第二齡幼蟲的體長卻相反，發育達第三齡到第五齡時，實驗組的體長才都超過對照組。

就整體結果來看，以半合成人工飼料飼養黑鳳蝶，雖然存活率僅 20%，發育期較取食文旦葉片者延長約 4 天，終齡幼蟲的頭殼寬度和體長均較大，且可化蛹並羽化為成蝶。即使以天然寄主植物飼養結果確實優於以半合成人工飼料飼育，但因季節變化或發生病蟲害導致寄主植物的生產量不足供應問題，或得隨時保持寄主植物新鮮且無污染或藥害等，均成為大量飼育蝶類的潛在缺點，因此多會考慮試著將寄主植物乾燥處理磨成粉狀做成人工飼料，不僅可長期保存且製作過程的加熱可去除附著植物上的病原菌（最上，1998）。

本試驗由於第一齡幼蟲大多不取食半合成人工飼料，造成二齡幼蟲死亡率最高，整體存活率偏低。因此要如何讓昆蟲去吃與寄主植物完全不同的人工飼料呢？Genc (2006) 認為誘食劑（phagostimulants）可能是營養性的成份或非營養性之相剋化學物質，大部分食物的化學成份會刺激一種或多種昆蟲取食，如果昆蟲需要的特殊化學信號不見

了，就可能拒吃此原本營養豐富的食物。Morton (1979 (81)) 亦指出大部分植食性昆蟲需要誘食劑去引起取食行為，誘食劑經常是寄主植物的某些特殊成份。因此未來研究將以本試驗結果為基礎，朝調整添加寄主植物文旦葉粉和其他成分的比例等改善，以增進本種幼蟲取食意願，期能達到大量飼育的目標。

## 參考文獻

- 王效岳、李俊延。1998。龜山島的蝴蝶與蛾類。宜蘭縣自然史教育館（羅東高中），宜蘭，臺灣，166 頁。
- 白九維、王效岳。1998。台灣的鳳蝶與中國大陸種類的綜述。淑馨出版社，臺北，臺灣，256 頁。
- 何健鎔、張連浩。1998。南瀛彩蝶。臺灣省特有生物研究保育中心，南投，臺灣，312 頁。
- 李俊延、王效岳。1995。臺灣蝶類圖說(三)金門馬祖蝴蝶和臺灣地區蝴蝶之綜述。臺灣省立博物館，臺北，臺灣，342 頁。
- 李俊延、王效岳。1997。臺灣蝶類圖說(四)。臺灣省立博物館，臺北，臺灣，317 頁。
- 李俊延、王效岳。2002。台灣蝴蝶圖鑑。貓頭鷹出版社股份有限公司，臺北，臺灣，304 頁。
- 李俊延、張玉珍。1988。臺灣蝶類圖說。臺灣省立博物館，臺北，臺灣，142 頁。
- 徐堉峰。1999。臺灣蝶圖鑑（第一卷）。臺灣省立鳳凰谷鳥園，南投，臺灣，344 頁。
- 張保信、蔡百峻。1984。臺灣的蝴蝶世界。渡假出版社有限公司，臺北，臺灣，183 頁。
- 陳維壽。1974。臺灣區蝶類大圖鑑。中國文化雜誌社，臺北，臺灣，353 頁。
- 最上繪里。1998。人工飼料によるチヨウの飼育。インセタリウム (The

Insectarium) , 35(7): 12-17。

趙力、王效岳。1996。中國鱗翅目 1：四川省蝴蝶。臺灣省立博物館，臺北，臺灣，350 頁。

趙力、王效岳。1997。中國鱗翅目 3：鳳蝶科、斑蝶科、粉蝶科、環紋蝶科。臺灣省立博物館，臺北，臺灣，445 頁。

濱野榮次。1987。臺灣蝶類生態大圖鑑（中文版）。牛頓出版社，臺北，臺灣，474 頁。

Genc, H. 2006. General principles of insect nutritional ecology. *Trakya Univ. J. Sci.*, 7(1): 53-57.

Morton, A. C. 1979(81). Rearing butterflies on artificial diets. *J. Res. Lepid.*, 18(4): 221-227.

Nagasawa, S. and I. Nakayama. 1969. Rearing of *Papilio protenor demetrius* Cramer (Lepidoptera: Papilionidae) on artificial diets with a special reference to the nutritional roles of yeast, soybean protein, cholesterol and choline chloride. *Kontyû*, 37: 327-337.

Singh, P. 1977. *Artificial Diets for Insects, Mites, and Spiders*. IFI / Plenum, New York, 594 pp.