

## 大鳳蝶的半合成人工飼料初探

歐陽盛芝<sup>1</sup> 簡精衛<sup>2</sup> 陳素瓊<sup>2\*</sup>

1.國立臺灣博物館研究組 2.國立宜蘭大學園藝學系

### 摘 要

本研究重點在研發大鳳蝶(*Papilio memnon heronus* Fruhstörfer)的半合成人工飼料，並以天然食草文旦(*Citrus grandis* (L.) Osbeck)葉片飼育為對照組，比較人工飼料對本種生長發育的影響，以數種生物特性探討此人工飼料配方之可行性。本試驗在網室內採大鳳蝶當日產卵，置於 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ， $80 \pm 5\%$  RH，光週期12L：12D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飼育剛孵化的大鳳蝶幼蟲至羽化為成蝶。試驗結果顯示，兩組所得的蟲體在外部形態上沒有差異。剛孵化的一齡幼蟲生長發育至羽化成蝶的存活率，飼料組為16.0%，較葉片組的48.3%低；平均發育日數，飼料組為 $51.27 \pm 1.36$  日，比葉片組的 $43.46 \pm 0.69$ 日長約 7.8 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。第一齡和第二齡幼蟲的頭殼寬度，飼料組大於葉片組，但第三齡至第五齡則相反，且本種幼蟲頭殼寬度超過5.15 mm 的閾值即可進入化蛹階段，兩組幼蟲的頭殼寬度皆隨齡期增長以平均約1.4 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。飼料組的各齡期幼蟲體長、蛹重、成蝶體重和翅長、翅寬等均小於葉片組。由此可知，本試驗研發的半合成人工飼料配方，僅含7.06 %文旦葉片粉末，算是可行且研發成功的配方，但未來應以此為基礎加以改進，期望能開發出有經濟價值的商業化產品。

**關鍵詞：**大鳳蝶(*Papilio memnon heronus* Fruhstörfer)、半合成人工飼料、文旦(*Citrus grandis* (L.) Osbeck)、生長發育、生物特性。

\*通訊作者。E-mail: scchen@niu.edu.tw

# Preliminary Study of Semi-synthetic Artificial Diet of Great mormon (*Papilio memnon heronus* Fruhstörfer)

Sheng-Chih Ou-Yang<sup>1</sup> Ching-Wei Chien<sup>2</sup> Su-Chiung Chen<sup>2\*</sup>

1. Research Department, National Taiwan Museum

2. Department of Horticulture, National Ilan University

## Abstract

This paper emphasizes on the research and development of the semi-synthetic artificial diet for the Great mormon (*Papilio memnon heronus* Fruhstörfer). Larvae fed with leaves of host plant, pomelo (*Citrus grandis* (L.) Osbeck), as control group, and the artificial diet as experimental group, were compared by biological characters of rearing insects in order to study the feasibility of rearing this species with the artificial diet. Eggs were collected from the host plant in the screenhouse, and kept individually in the growth chamber  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $80 \pm 5\%$  RH, and a photoperiod of 12L:12D as the rearing conditions. Hatched larvae were individually reared with either the semi-synthetic artificial diet or the leaves of pomelo until adult emergence. Results indicate that the morphology and appearance in this species of two groups did not have difference. The survival rate of the experimental group, from the first instar larvae of newly hatched to adults, was 16.0 %, which was less than the control group 48.3 %. The average developmental period of the experimental group, from the first instar larvae of newly hatched to adults, was 7.8 days longer than those of the control group, that is,  $51.27 \pm 1.36$  and  $43.46 \pm 0.69$  days, respectively. This butterfly species, reared with the artificial diet, had a lower survival rate during each life stage and had a longer developmental period. The width of the head capsule in the experimental group from those of the first instar to the second instar larvae was larger than those of the control group, and those in the experimental group from the third instar to the fifth instar larvae was smaller than control group. Therefore, the threshold value of head capsule's width for the larva's development to pupa was above 5.15 mm. The increment of the head capsule's width of the larva is in accordance with the increase in the larval instar stage, it maintains a ratio of 1.4 times in both groups. A linear regression relationship exists between the common logarithms of head capsule width of larva and the larval instar stages, which fitted with the Dyar's law. The body

length during every instar larval stage, pupal weight, adult weight, adult wing length and width in the experimental group were smaller than those of the control group. The semi-synthetic artificial diet contained only 7.06 % pomelo dried leaf powder was developed in this study. These results could prove the diet formulation can be considered feasible and successful in rearing this butterfly species. But this artificial diet is just a basic type, requiring further study and improvement, to become economic and valuable commercial production in the future.

**Keywords:** Great mormon (*Papilio memnon heronus* Fruhstörfer), semi-synthetic artificial diet, pomelo (*Citrus grandis* (L.) Osbeck), growth and development, biological characters.

\* Corresponding author. E-mail: scchen@niu.edu.tw

## 前 言

昆蟲人工飼料歷經百年的研發，至今已有很大的進展，但在鱗翅目方面，有關蛾類人工飼料的文獻頗多，而蝶類的報告卻很少(Morton, 1979(81))。Singh (1977) 曾敘述自1908年起研製的10個目700多種昆蟲人工飼料配方、製備及飼養過程，但其中只有2或3種蝴蝶能以人工飼料飼育。昆蟲人工飼料之發展與研究和防治害蟲的需求有關，而大多數的蝶類並非經濟作物的害蟲，故人們對蝶類缺乏商業價值且實驗顯示以人工飼料飼養蝶類較蛾類難，例如從野外採回蝴蝶在未成熟的幼蟲期，必須放在密閉的容器並定期提供新鮮食草(寄主植物)，或以網套封住一段生長中的植物枝幹形成簡單的「袖籠(sleeved)」飼養，但飼養者若要收穫大量昆蟲時，用這些飼養方法就不合適，因需要耗費密集的勞力與大量的空間，而且會有可用食草的問題和有效防治疾病爆發之困難(Morton, 1979(81); Genc and Nation, 2004)。換言之，雖然蝶類經常被當成實驗材料，卻常使用活體植物做為幼蟲食物，這就時間及空間而言相當昂貴(Holloway *et al.*, 1991)。

關於蝶類食草的問題，日本多摩動物園(Tama Zoo)昆蟲館飼育一整年需用的蝴蝶幼蟲，就得準備全年的幼蟲食草，如何維持這些食草一整年都能繼續生產就是最大的問題，因夏季和冬季的生產量會產生巨大變化，且溫室內栽培的植物在冬天幾乎停止生長；食草有時發生病蟲害，能供應幼蟲的飼育數量減少，導致食草量與飼育數目無法維持均衡；食草植物中絕大部分並非農藝或園藝作物，無法以購買方式來補充不足；食草應在無農藥施用下栽培，但常遭受病蟲的危害，而受害情況又集中在某些季節；在溫室

內飼育的幼蟲生病時，附近的食草易受污染，必須將受污染的食草處理掉；以及如何保持食草葉片的新鮮狀態等；因此會考慮試著將食草乾燥處理磨成粉狀做成半合成人工飼料，不僅可長期保存且製作過程的加熱可去除附著食草上的病原菌(最上，1998)。

蝶類人工飼料報告較少的因素還包括：蝶類在幼蟲時期傾向受限於一種或很少種寄主植物，即許多蛾類是廣食性(*generalists*)而蝶類卻傾向於較專食性(*specialized*)，且蝶類對營養的平衡非常敏感，或其寄主植物存在特殊的取食信號，且蝶類沒有像某些蛾類具有能鑽孔的行為，因此只有少數被專用於為蝴蝶發展人工飼育培養基(Holloway *et al.*, 1991; Genc and Nation, 2004)。近年來，由於昆蟲學研究的不斷深入及害蟲防治新技術的發展，需要供應成萬上億的生理標準劃一的昆蟲，促使人工飼料的研究工作迅速發展，並成為昆蟲學研究和害蟲防治新技術上的基本技術之一；人工飼料不僅可以使昆蟲發育整齊，生理一致，而且在很多情況下是解決季節性飼料短缺的主要途徑(方等，2003)。

配製人工飼料的目標若只是能飼養蝴蝶，配方中使用天然成分可能更方便，但實驗結果卻易造成無法重覆，若都使用化學或合成成分可簡化飼料及降低成本(Morton, 1979(81))。雖然 Morton (1979(81))已發表只含 1.5%寄主植物乾燥葉粉的半合成人工飼料配方，並成功飼養包括黃鳳蝶(*Papilio machaon*)等 50 種不同的蝴蝶，卻沒有顯示幼蟲存活或發育的相關數據。實際上，人工飼料對在實驗室中大量飼養植食性昆蟲很有用，並且發展含有較少乾燥葉片粉末的人工飼料，對於飼養因寄主植物種類稀少或幼蟲消耗大量葉片時很重要(Yoshio and Ishii, 1996)。無論如何，這些含有食草成分的配方都被歸類為半合成人工飼料。

雖然國外已發表一些有關以人工飼料飼養繁殖蝶類的文獻，其中屬於鳳蝶科的物種只有裳鳳蝶(*Troides helena*)(Ngatimin *et al.*, 2014)、柑橘鳳蝶(*P. xuthus*)(釜野，1965；中山等，1969；Kim *et al.*, 2014)、大鳳蝶(*P. memnon heronus*)(Yoshio and Ishii, 1996)、黃鳳蝶(Morton, 1979(81))、麝鳳蝶(*Byasa alcinous alcinous*)和紅珠鳳蝶(*Pachliopta aristolochiae*)(最上，1998)等篇，及中國的趙等(2013)已發展適用於絲帶鳳蝶(*Sericinus montelus* Gray)、白帶鋸蛺蝶(*Cethosia cyane*)和玉帶鳳蝶(*P. polytes*)等蝴蝶的人工飼料飼養方法，並成功在該國取得專利，但未見有商品上市。而國內發表的報告更少，除了金(1986)曾報導以柑橘鳳蝶人工飼料飼養大鳳蝶、黑鳳蝶(*P. protenor amaura*, 1909，現改為 *P. protenor protenor*, 1775)、玉帶鳳蝶和無尾鳳蝶(*Princeps demoleus libanius*, 1908，現改稱花鳳蝶 *P. demoleus*, 1758)外，僅筆者持續針對鳳蝶科和蛺蝶科的人工飼料研究，故

本篇探討以半合成人工飼料飼育大鳳蝶的可行性，期能開發大量飼養本種的方法，提供未來引入休閒農業做為觀賞蝶類或提供研究、教學、展示及教育等用途。

## 材料與方法

### 一、供試蟲源及飼養方法

從宜蘭縣礁溪鄉龍潭湖取得大鳳蝶雌、雄蝶各 5 隻做為原始蟲源，試驗期間不定期從龍潭湖、跑馬古道、員山鄉望龍埤等地捕獲本種雌蝶混入補充，以維持族群的穩定性。攜回之成蝶活體放養於簡易網室(長 6.1 m、寬 4.7 m、高 2.6 m)，其飼養方法採用陳等(2014)相同的方式進行。

本試驗使用的供試蟲源之幼蟲寄主植物為檸檬(*Citrus limon* (L.) Burm. f.)，先將檸檬盆栽(高約 120 cm)移入網室內供本種雌蝶產卵，約 2-3 日採一次卵，帶回實驗室，用濕棉花包覆葉柄部位進行保濕處理，置入圓形半透明塑膠盒(盒口直徑 11 cm、底部直徑 9 cm、高 7.5 cm，約 500 mL)飼育，待卵孵化後用毛筆將幼蟲移至圓形半透明塑膠盒，每一盒放 10 隻蟲，每日更換新鮮葉片及清理飼育容器，待幼蟲至四齡時移入透明壓克力飼養箱(長 30 cm、寬 30 cm、高 30 cm)飼養至成蝶羽化。將羽化之成蝶放入簡易網室內活動和交尾產卵，俟飼養繁殖超過 3 代，族群數量穩定且每日產卵數足供試驗，即可開始進行本試驗。

### 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*)的寄主植物文旦(*C. grandis*)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 時即可用於試驗。

### 三、半合成人工飼料的配製

採新鮮文旦葉片，經冷凍乾燥處理至完全乾燥，再以碎粉機磨成粉狀備用。大鳳蝶幼蟲半合成人工飼料成分乃參考 Morton (1979(81))、Yoshio and Ishii (1996)、Mattoni, *et al.* (2003)、Genc and Nation (2004)等人的配方，加以改良。其成分列於表 1，將這些成分混合後放入加熱的蒸餾水中，攪拌均勻待其冷卻後倒入保鮮盒(長 9.4 cm、寬 6.6 cm、高 2.6 cm)製成半合成人工飼料，再放入冰箱冷藏備用。

### 四、半合成人工飼料與天然食草對大鳳蝶的影響

試驗當日先將一盆檢視過不含其他生物的文旦盆栽，置於簡易網室內供本種雌蝶產卵，4 小時後在網室內採集大鳳蝶當日產卵葉片攜回實驗室，將葉柄以棉花裹住，加水

表 1 大鳳蝶幼蟲的半合成人工飼料組成份  
Table 1 Composition of semi-synthetic artificial diet for rearing *Papilio memnon heronus* larvae

Ingredients	Quantity (unit)
Dried leaf powder of pomelo ( <i>Citrus grandis</i> )	60.000 (g)
Cellulose	16.000 (g)
Casein	30.000 (g)
Gallic acid	1.830 (g)
Inositol	1.830 (g)
Vitamin mixture	0.183 (g)
Streptomycin sulfate	0.183 (g)
Sucrose	7.320 (g)
Ascorbic acid	3.660 (g)
Choline chloride	0.600 (g)
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	5.000 (g)
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	2.000 (g)
Sorbic acid	1.600 (g)
Agar	20.000 (g)
Distilled water	700.000 (mL)

保鮮，然後放入圓形半透明塑膠盒內，移至  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ， $80 \pm 5\%$  RH，光週期 12L : 12D 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 2.5 cm，容量約 20 mL)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 100 隻。

當幼蟲成長至四齡時，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 mL)，蓋上以針刺 10 個小孔以流通空氣的透明盒蓋。飼養至五齡時，飼養容器更換成較大的圓形不透明紙盒(盒口直徑 13 cm、底部直徑 11 cm、高 10 cm，容量約 850 mL)，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不透明紙盒內懸掛較粗糙之衛生紙

條，以利其羽化。

另一組則以天然食草文旦葉片飼育當作對照組。所用飼養容器大致與人工飼料組相同，但因飼養一至三齡用的小型圓形透明塑膠盒容量太小，整片文旦葉片放不進去，故直接採用前述飼養第四齡幼蟲用的圓型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皆以相同方式採卵處理，亦移置相同條件之光週期的恆溫恆濕生長箱中每日觀察。但對照組只取剛孵化的 60 隻一齡幼蟲放入圓型透明塑膠盒中單隻飼育，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記錄，依數據計算出各蟲期之存活率、發育日數、幼蟲之體長與頭殼寬、蛹重、成蝶體重、前翅之翅長及翅寬、性比等數據，皆以 SAS System version 9.1 for windows 統計軟體(PROC MEANS, SAS Institute 2003)計算出平均值(Mean)和標準誤差(Standard Error)。平均值間的顯著性檢定是採用  $t$  檢定( $t$ -test)分析。雌、雄成蝶性比例依卡方( $X^2$ )之適合性檢定(chi-square test for goodness of fit)進行計算。

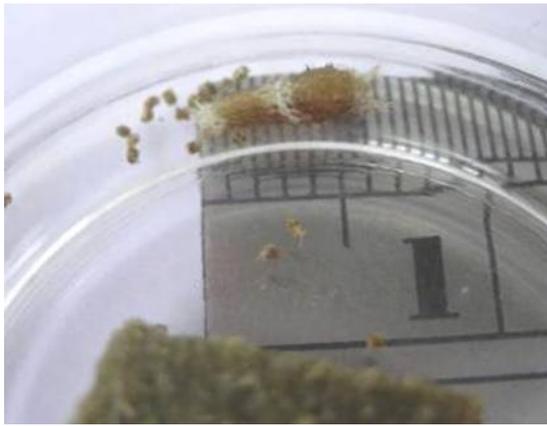
## 結果與討論

### 一、外部形態特徵

本試驗以天然食草文旦葉片飼養大鳳蝶第一至第五齡幼蟲、蛹、雌雄蝶的外部形態特徵，如陳等(2014)所述大鳳蝶取食半合成人工飼料組的各齡期幼蟲(圖 1A-E)、蛹、成蟲，經觀察與文旦葉片組相同蟲期者，在形態和體色均無差異。由此可知，以天然食草和半合成人工飼料在相同條件下飼育羽化的大鳳蝶，不會影響其外部形態特徵。此與金(1986)報導以人工飼料飼養包含大鳳蝶在內的數種鳳蝶，羽化出的成蟲鱗片之色澤與蟲體之外觀，與飼以食草者並無差異，其幼蟲齡數也未增加的結果相同。並且 Yoshio and Ishii (1996) 試驗得知人工飼料飼養的大鳳蝶成蝶是正常且具有繁殖能力；本試驗以半合成人工飼料飼育羽化的成蝶翅膀正常，均可飛翔且具備交尾和繁殖後代的能力。

### 二、存活率

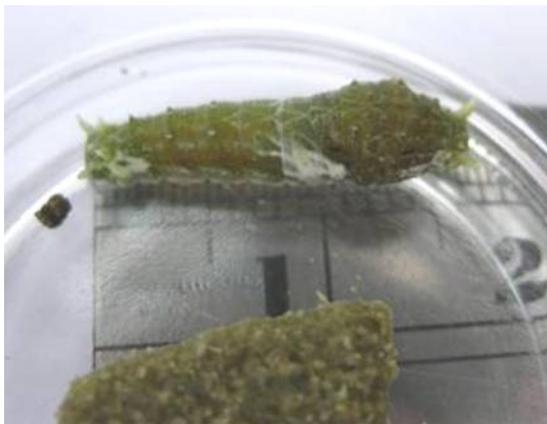
大鳳蝶在  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ， $80 \pm 5\% \text{ RH}$ ，光週期 12L:12D 的恆定條件下，以半合成人工飼料和文旦葉片分組飼養的各蟲期存活率如表 2。由此可知，半合成人工飼料組(以下簡稱飼料組)的各蟲期存活率皆低於文旦葉片組(以下簡稱葉片組)，其中第一齡幼蟲存活率



(A)



(B)



(C)



(D)



(E)

圖1 大鳳蝶以半合成人工飼料飼育的各齡期幼蟲形態：A. 一齡幼蟲；B. 二齡幼蟲；C. 三齡幼蟲；D. 四齡幼蟲；E. 五齡幼蟲。

Fig. 1 Morphology of various larval stages of *Papilio memnon heronus* reared with semi-synthetic artificial diet: A. First-instar larva; B. Second-instar larva; C. Third-instar larva; D. Fourth-instar larva; E. Fifth-instar larva.

表 2 半合成人工飼料與文旦葉片飼育的大鳳蝶存活率  
 Table 2 The survival rate (%) of various development stage of *Papilio memnon heronus* reared with semi-synthetic artificial diet and pomelo leaves

Life stage	Survival rate (%) ( <i>n</i> ) <sup>1)</sup>	
	Semi-synthetic artificial diet	Pomelo leaves
1st instar larva	90.0 (90)	95.0 (57)
2nd instar larva	94.4 (85)	98.2 (56)
3rd instat larva	83.5 (71)	100.0 (56)
4th instar larva	78.9 (56)	96.4 (54)
5th instar larva	64.3 (36)	70.4 (38)
Larva	36.0 (36)	63.3 (38)
Pupa	44.4 (16)	76.3 (29)
Larva to Adult	16.0 (16)	48.3 (29)

1) *n* in parentheses is the number of observed.

各為 90.0 和 95.0 %，第二齡幼蟲則各為 94.4 和 98.2 %，彼此間差距較小，第三齡幼蟲分別為 83.5 和 100.0 %，相差 16.5 %，第四齡幼蟲的存活率，飼料組為 78.9 %與葉片組的 96.4 %，相差了 17.5 %；第五齡幼蟲存活率兩組各為 64.3 和 70.4 %，僅相差 6.1 %。整個幼蟲期存活率飼料組為 36.0 %，葉片組為 63.3 %，兩者相差近兩倍，飼料組有 36 隻幼蟲化蛹成功，而葉片組有 38 隻幼蟲化蛹。蛹的存活率兩組分別為 44.4 和 76.3 %，差距達 31.9 %，飼料組 16 隻蛹，順利羽化成蝶只有 16 隻，有 20 隻未能成功羽化，而葉片組有 29 隻蛹羽化為成蝶；而自第一齡幼蟲完成整個發育期至羽化為成蝶的存活率，飼料組僅 16.0 %，較葉片組的 48.3 %，減少 32.3 %，故本結果顯示仍以取食天然食草文旦葉片存活率較高。

陳及歐陽(2005)在與本試驗相同條件，但光週期為 14L：10D，以酸桔葉片單隻飼育大鳳蝶結果，幼蟲期存活率為 77.2 %高於本試驗葉片組，其蛹期存活率為 47.8 %，自卵發育至羽化為成蝶的存活率為 21 %，若扣除 57 %卵孵化率，換算為自第一齡幼蟲發育至成蝶羽化的存活率是 36.8 %，此兩個數據均低於本試驗葉片組結果。而陳等(2014)在相同條件但光週期為 14L：10D，同樣以文旦葉片飼育所得的幼蟲期存活率為 77.1 %，蛹期存活率是 94.1 %，自第一齡幼蟲發育至成蝶羽化的存活率是 59.1 %，可知其三個主要蟲期存活率均較本試驗葉片組高，且自第一齡幼蟲發育至成蝶羽化的存活率高出本試驗葉片組 10.8%。

本試驗以半合成人工飼料飼育結果，幼蟲期存活率僅有 36.0 %，與葉片組的 63.3 %

比較，若以後者數據為 100 %可換算出前者僅 56.87 %，同理，蛹存活率依後者換算後為 58.19 %，自一齡幼蟲發育至成蝶存活率依後者換算為 33.13 %，換言之，以人工飼料從 100 隻第一齡幼蟲飼養只能獲得 16 隻成蝶，若和天然食草文旦葉片比較，以相同條件飼育，以天然食草飼養結果可得到 100 隻成蝶時僅相對得到人工飼料組 33 隻成蝶，差距相當大，但亦證明此種配方的半合成人工飼料確實可以飼育出大鳳蝶。

由表 2 中亦知，本種”死亡率”較高的階段是在幼蟲期，飼料組和葉片組分別為 64.0 和 36.7 %，以蟲齡來看，主要在第五齡時，各為 35.7 和 29.6 %。此與陳及歐陽(2005)所述本種較高死亡率階段分別為蛹期和卵期(存活率各為 47.8 及 57.0 %)不同。但由本試驗結果可知，未來若要將半合成人工飼料應用於大量飼育生產成蝶時，除了改進飼料配方外，設法提高大鳳蝶幼蟲期存活率也是增加成蝶的重點。

### 三、發育期

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 3。飼料組的各蟲期發育日數均長於文旦葉片組，以  $t$  檢定( $t$ -test)分析結果，除了第二齡幼蟲外，其餘各蟲期兩組間均有極顯著差異( $p < 0.01$ )；人工飼料組的幼蟲期發育日數為  $35.51 \pm 0.85$  日，較葉片組的  $29.00 \pm 0.51$  日長約 6.5 日，前者的幼蟲期最長可達 53 日，出現發育遲

表 3 半合成人工飼料與文旦葉片飼育的大鳳蝶各蟲期發育日數  
Table 3 The developmental periods of various development stage of *Papilio memnon heronus* reared with semi-synthetic artificial diet and pomelo leaves

Life stage	Developmental period (days) ( $n$ ) <sup>1)</sup>				$t$ -value <sup>2)</sup>
	Semi-synthetic artificial diet		Pomelo leaves		
	Mean $\pm$ SE	Range	Mean $\pm$ SE	Range	
1st instar larva	5.57 $\pm$ 0.10 (90)	4-9	4.40 $\pm$ 0.09 (57)	3-6	8.28**
2nd instar larva	4.06 $\pm$ 0.06 (85)	3-6	4.05 $\pm$ 0.10 (56)	3-6	0.05
3rd instat larva	6.17 $\pm$ 0.40 (71)	3-18	4.40 $\pm$ 0.09 (56)	3-7	3.84**
4th instar larva	10.38 $\pm$ 0.53 (56)	6-21	5.61 $\pm$ 0.16 (54)	4-7	8.54**
5th instar larva	12.83 $\pm$ 0.38 (36)	9-21	10.74 $\pm$ 0.33 (38)	8-19	4.20**
Larva	35.51 $\pm$ 0.85 (36)	30-53	29.00 $\pm$ 0.51 (38)	24-37	6.69**
Pupa	16.00 $\pm$ 0.27 (11)	14-17	15.04 $\pm$ 0.15 (26)	14-16	3.30**
Larva to pupa	51.27 $\pm$ 1.36 (11)	46-62	43.46 $\pm$ 0.69 (26)	38-51	5.66**

1)  $n$  in parentheses is the number of observed.

2) Two asterisk in  $t$ -value is significantly different at 99% confidence level ( $p < 0.01$ ), by  $t$ -test.

滯，化蛹後甚至滯育遲不羽化，故剔除滯育蛹這種極端值不計得知，飼料組的蛹期發育時間是  $16.00 \pm 0.27$  日，葉片組為  $15.04 \pm 0.15$  日，雖然平均只相差約一日，但兩組間仍存在極顯著差異；自一齡幼蟲生長至蛹羽化為成蝶所需的發育時間，飼料組與葉片組各需  $51.27 \pm 1.36$  和  $43.46 \pm 0.69$  日，前者較後者長 7.8 日，此差距主要在於幼蟲期，尤其是第四齡幼蟲的發育時間，葉片組需  $5.61 \pm 0.16$  日比飼料組的  $10.38 \pm 0.53$  日約短 4.8 日，其次是第五齡幼蟲，葉片組為  $10.74 \pm 0.33$  日較飼料組的  $12.83 \pm 0.38$  日約短 2.1 日。

表 3 亦顯示以半合成人工飼料飼育的第三至第五齡幼蟲，皆有部分幼蟲的發育日數會拖得很長，其範圍依序各為第三齡 3 - 18 日、第四齡 6 - 21 日、第五齡 9 - 21 日，這些最長發育日數與平均發育日數差距皆大於 8 日，顯示出部分幼蟲對人工飼料無法完全適應，導致發育遲滯而延後蛻皮時間，甚至最後產生滯育蛹現象。

本試驗的幼蟲期發育日數飼料組和葉片組各為  $35.51 \pm 0.85$  與  $29.00 \pm 0.51$  日，前者較後者長，且均較陳等(2014)在相同條件不同光週期條件下，以文旦葉片飼育大鳳蝶的  $25.75 \pm 0.82$  日長；而 Yoshio and Ishii (1996) 在  $20^{\circ}\text{C}$  光週期 12.5L : 11.5D 條件下以 5 種人工飼料和柑橘屬葉片飼養大鳳蝶，得知飼料組幼蟲期從  $30.6 \pm 4.4$  日至  $35.3 \pm 3.1$  日而葉片組為  $36.0 \pm 1.9$  日，後者反而較前者長，與本試驗結果相反。

本試驗的蛹期發育日數飼料組為  $16.00 \pm 0.27$  日，葉片組為  $15.04 \pm 0.15$  日，以前者較長，且均較陳等(2014)以相同葉片飼育所得的  $14.46 \pm 0.18$  日長；但金(1986)在台北動物園之室內以人工飼料飼養的 5 隻大鳳蝶蛹期卻各為 11、13、36、123 及 120 日，變異非常大，其中 2 隻的蛹期較本試驗所得短，另 3 隻則較本試驗者長，金(1986)並指出其中 3 隻的蛹期明顯加長與野外越冬現象相吻合，此種特長蛹期的蛹符合 Yoshio and Ishii (1996) 認定供試大鳳蝶個體的蛹期若超過 25 日就是滯育蛹的定義，本試驗亦出現部分滯育蛹個體。本試驗自一齡幼蟲生長至蛹羽化為成蝶所需的發育時間，飼料組是  $51.27 \pm 1.36$  日，葉片組是  $43.46 \pm 0.69$  日，前者較後者長，兩者皆比陳等(2014)以文旦葉片飼養的  $40.92 \pm 1.49$  日長。由此可知，本試驗以半合成人工飼料飼養大鳳蝶所需的發育日數，較取食天然食草文旦葉片組長。

#### 四、幼蟲頭殼寬度

以半合成人工飼料和文旦葉片分組飼養的大鳳蝶各齡期幼蟲頭殼寬度如表 4。可知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。飼料組第一至第五齡幼蟲頭殼寬度分別為  $1.31 \pm 0.01$ 、 $1.75 \pm 0.01$ 、 $2.52 \pm 0.01$ 、 $3.72 \pm 0.03$ 、 $5.15 \pm 0.05$  mm、葉

表 4 半合成人工飼料與文旦葉片飼育的大鳳蝶各齡期幼蟲頭殼寬度  
 Table 4 The head capsule width of each instar larva of *Papilio memnon heronus* reared with semi-synthetic artificial diet and pomelo leaves

Larval stage	Head capsule width (Mean±SE, mm) (n) <sup>1)</sup>		
	Semi-synthetic artificial diet	Pomelo leaves	t-value <sup>2)</sup>
1st instar larva	1.31±0.01 (90)	1.23±0.01 (57)	7.90**
2nd instar larva	1.75±0.01 (85)	1.69±0.01 (56)	3.70**
3rd instar larva	2.52±0.01 (71)	2.53±0.01 (56)	0.15
4th instar larva	3.72±0.03 (56)	3.77±0.03 (54)	1.13
5th instar larva	5.15±0.05 (36)	5.61±0.05 (39)	6.68**

1) *n* in parentheses is the number of observed.

2) Two asterisk in t-value is significantly different at 99% confidence level ( $p < 0.01$ ), by *t*-test.

片組依序各為  $1.23 \pm 0.01$ 、 $1.69 \pm 0.01$ 、 $2.53 \pm 0.01$ 、 $3.77 \pm 0.03$ 、 $5.61 \pm 0.05$  mm，即第一和第二齡幼蟲的頭殼寬度，飼料組大於葉片組，但第三至第五齡則相反。以 *t* 檢定分析結果，第一、第二及第五齡時兩組間均有極顯著差異( $p < 0.01$ )，而第三與第四齡時兩組間無顯著差異；即飼料組的初齡幼蟲頭殼寬度雖然較寬，但到了終齡反而小於葉片組，且本種幼蟲頭殼寬度超過 5.15 mm 的閾值即可進入化蛹階段。由此可知，大鳳蝶幼蟲的頭殼依齡期有一定的寬度。

陳及歐陽(2005)的大鳳蝶第一至第五齡幼蟲頭殼寬度分別為  $1.34 \pm 0.04$ 、 $1.84 \pm 0.01$ 、 $2.58 \pm 0.02$ 、 $3.82 \pm 0.03$ 、 $6.10 \pm 0.10$  mm，均較本試驗兩組的各齡期幼蟲頭殼寬度寬；而陳等(2014)大鳳蝶的文旦葉片組大鳳蝶各齡期幼蟲頭殼寬度依序是  $1.29 \pm 0.01$ 、 $1.79 \pm 0.03$ 、 $2.57 \pm 0.04$ 、 $3.84 \pm 0.11$ 、 $5.53 \pm 0.08$  mm，較本試驗葉片組的第一至第四齡者寬，但第五齡頭殼寬度卻較窄，然而陳等(2014)大鳳蝶卻比本試驗飼料組第一齡頭殼寬度略窄，第二至第五齡則相反。無論如何，本試驗結果符合陳及歐陽(2005)與陳等(2014)所述本種幼蟲隨著齡期增長其頭殼寬度日益增加。

由上述結果將各蟲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 5。飼料組幼蟲頭殼寬度隨齡期以 1.34 - 1.48 倍增長，平均為  $1.41 \pm 0.03$  倍，而葉片組則以 1.37 - 1.50 倍增長，平均為  $1.46 \pm 0.03$  倍，即兩組幼蟲的頭殼寬度皆隨齡期增長以平均約 1.4 倍呈等比增加，符合戴爾法則。

本試驗結果與陳及歐陽(2005)大鳳蝶各蟲期幼蟲連續齡期的次一齡期與前一齡期平

均頭殼寬相除之比值為 1.37-1.60 倍，平均為  $1.41 \pm 0.03$  倍，與陳等(2014)大鳳蝶的文旦葉片組是 1.39 - 1.49 倍，平均是  $1.44 \pm 0.02$  倍比較，葉片組的平均比值較大而飼料組則小於或等於後二者。

表 5 半合成人工飼料與文旦葉片飼育的大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 5 The average ratio of head capsule width of the subsequent divided by this instar larva of *Papilio memnon heronus* reared with semi-synthetic artificial diet and pomelo leaves

Larval stage	Average ratio of head capsule width of next instar divided by this instar	
	Semi-synthetic artificial diet	Pomelo leaves
2nd / 1st instar	1.34	1.37
3rd / 2nd instar	1.44	1.50
4th / 3rd instar	1.48	1.49
5th / 4th instar	1.38	1.49
<b>Average</b>	$1.41 \pm 0.03$	$1.46 \pm 0.03$

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。飼料組和葉片組得的直線迴歸方程式及迴歸配適度( $R^2$ )各為  $Y = -0.0462 + 0.1517 X$  ( $R^2 = 0.9979^{**}$ ) 及  $Y = -0.0907 + 0.1667 X$  ( $R^2 = 0.9982^{**}$ )，配適度均高達 0.99 以上，經  $t$  檢定分析得知，均呈極顯著之正相關( $p < 0.01$ )，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在第三齡時的頭殼寬度常用對數幾近重疊，以此點為界，左方第一齡及第二齡時以飼料組較葉片組的數值高，第四齡及第五齡時則相反。

有關頭殼寬度的常用對數與齡期之直線迴歸方程式，陳及歐陽(2005)大鳳蝶得到  $Y = -0.0559 + 0.1634 X$  ( $R^2 = 0.9967^{**}$ )，陳等(2014)大鳳蝶的文旦葉片組則是  $Y = -0.059 + 0.160 X$  ( $R^2 = 0.999^{**}$ )，均與本試驗兩組結果類似，顯示大鳳蝶各齡幼蟲的頭殼寬度常用對數，確隨齡期增加而呈直線關係增加。並且陳及歐陽(2005)與陳等(2014)大鳳蝶的迴歸直線斜率各為 0.1634 和 0.160，均較本試驗飼料組(0.1517)稍高卻比葉片組(0.1667)略低，表示本種幼蟲頭殼寬度的增加趨勢彼此間均類似。

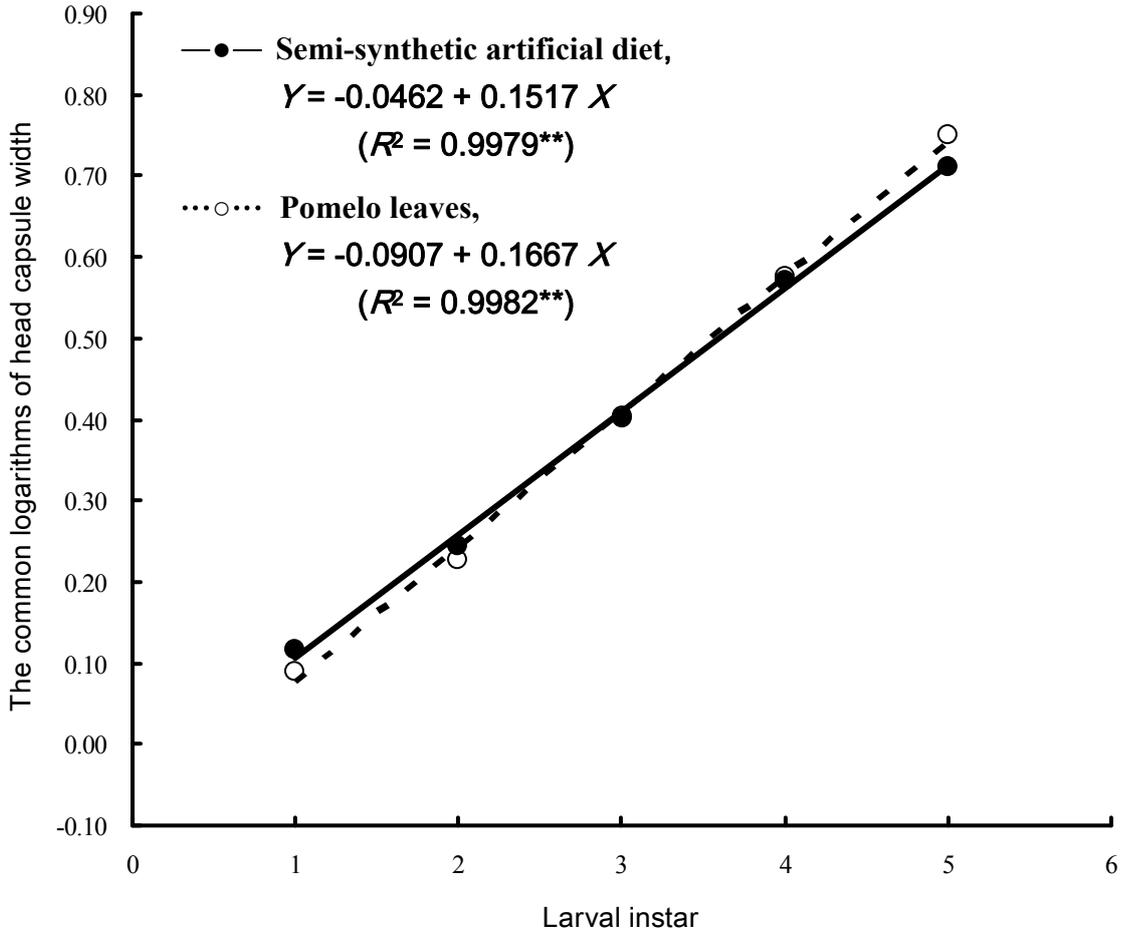


圖 2 半合成人工飼料與文旦葉片飼育的大鳳蝶各齡期幼蟲頭殼寬度常用對數(Y)和齡期(X)之關係(—●— 半合成人工飼料；...○... 文旦葉片)。

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

大鳳蝶的幼蟲一般分為 5 個齡期，第五齡幼蟲通稱為末齡幼蟲，但其頭殼寬度若低於化蛹閾值時，幼蟲就不化蛹而會反覆蛻皮增加齡期，以達到此閾值。根據陳及歐陽(2005)與陳等(2014)認為本種幼蟲發育需達平均頭殼寬度為 6.10 和 5.43 mm 就可使老熟幼蟲化蛹，即此數值為本種進入化蛹階段的閾值，但本試驗結果，飼料組僅需 5.15 mm 而葉片組則需 5.61 mm 的閾值即可化蛹。

### 五、幼蟲體長

以半合成人工飼料和文旦葉片分組飼養的大鳳蝶幼蟲各齡期體長如表 6。兩組幼蟲的體長皆隨齡期增加而增長，且增長趨勢類似。飼料組第一至第五齡幼蟲體長各為  $3.94 \pm 0.02$ 、 $6.47 \pm 0.05$ 、 $11.37 \pm 0.10$ 、 $19.07 \pm 0.18$ 、 $31.01 \pm 0.37$  mm、葉片組依序為  $4.13 \pm 0.03$ 、 $7.28 \pm 0.07$ 、 $11.93 \pm 0.09$ 、 $20.19 \pm 0.14$ 、 $31.91 \pm 0.30$  mm，即飼料組各齡期幼蟲體

長均小於葉片組。以  $t$  檢定分析結果，除第五齡幼蟲外，第一至第四齡時兩組間均有極顯著差異( $p < 0.01$ )。雖然取食人工飼料的幼蟲在四齡以前的體長均較葉片組短，但到了五齡時，兩組體長在統計上就無顯著差異存在。將第五齡幼蟲體長除以第一齡幼蟲體長，可得知從第一齡幼蟲生長至第五齡幼蟲時的體長增長倍數，飼料組和葉片組分別為 7.87 及 7.73 倍。

表 6 半合成人工飼料與文旦葉片飼育的大鳳蝶各齡期幼蟲體長

Table 6 The body length of each instar larva of *Papilio memnon heronus* reared with semi-synthetic artificial diet and pomelo leaves

Larval stage	Body length (Mean±SE, mm) (n) <sup>1)</sup>		
	Semi-synthetic artificial diet	Pomelo leaves	t-value <sup>2)</sup>
1st instar larva	3.94±0.02 (100)	4.13±0.03 (60)	5.91**
2nd instar larva	6.47±0.05 (90)	7.28±0.07 (57)	9.89**
3rd instat larva	11.37±0.10 (85)	11.93±0.09 (56)	4.35**
4th instar larva	19.07±0.18 (71)	20.19±0.14 (56)	4.70**
5th instar larva	31.01±0.37 (55)	31.91±0.30 (54)	1.86

1)  $n$  in parentheses is the number of observed.

2) Two asterisk in t-value is significantly different at 99% confidence level ( $p < 0.01$ ), by  $t$ -test.

大鳳蝶各齡期幼蟲的平均體長，陳及歐陽(2005)的第一至第五齡幼蟲依序為  $4.55 \pm 0.07$ 、 $8.81 \pm 0.16$ 、 $15.39 \pm 0.25$ 、 $23.28 \pm 0.35$ 、 $41.05 \pm 0.78$  mm，而陳等(2014)文旦葉片組所得的各為  $4.50 \pm 0.05$ 、 $8.68 \pm 0.30$ 、 $13.69 \pm 0.40$ 、 $22.54 \pm 0.62$ 、 $36.92 \pm 1.40$  mm，由此可知，均較本試驗兩組之結果長。並且本試驗結果明顯低於李及張(1988)所提終齡幼蟲體長約 35-38 mm 的範圍。

本試驗所得的頭殼寬度(表 4)與體長(表 6)，飼料組的各齡幼蟲體長均低於葉片組，但其中第一和第二齡幼蟲的頭殼寬度則是飼料組大於葉片組，符合陳等(2014)指出大鳳蝶的幼蟲頭殼寬度與體長並無絕對關係。

## 六、蛹重、成蝶體重、翅長、翅寬和性比

以半合成人工飼料和文旦葉片分組飼養大鳳蝶的蛹重、成蝶體重、翅長、翅寬如表 7，成蝶性比如表 8。其中飼料組和葉片組的蛹重分別為  $1.46 \pm 0.08$  與  $1.70 \pm 0.08$  g，以  $t$  檢定分析結果，兩者間存在顯著差異( $p < 0.05$ )。飼料組的成蝶體重為  $0.55 \pm 0.04$  g，葉片組為  $0.64 \pm 0.04$  g，飼料組與葉片組的成蝶翅長各為  $56.11 \pm 1.35$  與  $59.02 \pm 1.03$  mm，

成蝶翅寬依序分別為  $42.38 \pm 0.97$  與  $43.24 \pm 0.87$  mm，雖然葉片組的數據均大於飼料組，但兩組的成蝶體重、翅長、翅寬經  $t$  檢定分析結果，無顯著差異存在。

表 7 半合成人工飼料與文旦葉片飼育的大鳳蝶蛹重、成蝶體重、翅長及翅寬  
Table 7 The pupal weight, adult weight, wing length, and width of *Papilio memnon heronus* reared with semi-synthetic artificial diet and pomelo leaves

Measure item (unit)	Weight, length, or width (Mean±SE) (n) <sup>1)</sup>		
	Semi-synthetic artificial diet	Pomelo leaves	t-value <sup>2)</sup>
Pupal weight (g)	1.46±0.08 (36)	1.70±0.08 (38)	2.09*
Adult weight (g)	0.55±0.04 (16)	0.64±0.04 (29)	1.44
Wing length (mm)	56.11±1.35 (14)	59.02±1.03 (23)	1.72
Wing width (mm)	42.38±0.97 (14)	43.24±0.87 (23)	0.64

1)  $n$  in parentheses is the number of observed.

2) Asterisk in t-value is significantly different at 95% confidence level ( $p < 0.05$ ), by  $t$ -test.

陳等(2014)大鳳蝶文旦葉片組的蛹重為  $1.8 \pm 0.06$  g，而 Yoshio and Ishii (1996) 在 20°C 光週期 12.5L : 11.5D 條件下，以 5 種人工飼料和柑橘屬葉片飼養大鳳蝶所得的蛹重依序為  $2.2 \pm 0.18$ 、 $2.3 \pm 0.27$ 、 $2.5 \pm 0.69$ 、 $2.3 \pm 0.32$ 、 $2.1 \pm 0.47$ 、 $1.9 \pm 0.35$  g，雖然後者的人工飼料組蛹重均較葉片組重，與本試驗結果相反，但就蛹重數據來看，二者試驗結果均較本試驗重。但 Yoshio and Ishii (1996) 大鳳蝶在此條件下，化蛹個體皆進入滯育，故缺成蝶數據可比較。

大鳳蝶成蝶的體重、翅長、翅寬，陳等(2014)文旦葉片組各為  $0.55 \pm 0.04$  g、 $56.45 \pm 1.45$  mm、 $40.80 \pm 1.19$  mm，其中成蝶體重等於本試驗飼料組卻較葉片組輕，翅長略長於本試驗飼料組卻短於葉片組，翅寬則皆比本試驗兩組者短。由此可知，陳等(2014)大鳳蝶的蛹重雖較本試驗者重，但成蝶體重卻等於或較輕。

本試驗飼育所得的成蝶數，飼料組是 6 隻雄蝶和 10 隻雌蝶，其中 2 隻雄蝶畸形，而葉片組為 13 隻雄蝶和 16 隻雌蝶，其中雌、雄蝶各 3 隻畸形，兩組的成蝶數量均是雌蝶比雄蝶多。這些畸型的成蝶雖然所佔比例不高，探究其原因可能是飼養盒內空間不像野外那麼寬敞，本種屬於大型蝴蝶，其羽化時所需空間需求較大，因而影響其雙翅正常延展，因此未來可考慮於羽化期間提供較大空間，或可增加其羽化成功率且提高人工飼養繁殖效益。

表 8 中的成蝶性比(雌:雄)以卡方( $X^2$ )之適合性檢定(chi-square test for goodness of fit)

分析結果，兩組的成蝶性比均符合 1:1，意即本試驗結果顯示以半合成人工飼料和文旦葉片飼育對本種成蝶性比並無影響。陳等(2014)曾提及以不同寄主植物飼育對大鳳蝶成蝶性比並無影響，此與本試驗以人工飼料飼養亦不影響本種成蝶性比的結果相似。

表 8 半合成人工飼料與文旦葉片飼育的大鳳蝶雌雄蝶數及成蝶性比  
Table 8 The number of male and female, and sex ratio of *Papilio memnon heronus* reared with semi-synthetic artificial diet and pomelo leaves

Larval food	No. of male	No. of female	Sex ratio <sup>1)</sup>
Semi-synthetic artificial diet	6	10	1:1
Pomelo leaves	13	16	1:1

1) The sex ratio was calculated by chi-square test for goodness of fit.

## 七、大鳳蝶的半合成人工飼料

本試驗比較以半合成人工飼料和文旦葉片飼育大鳳蝶的結果，兩組飼養出各蟲期的外部形態和成蝶性比均無差異，飼料組的各蟲期存活率均低於葉片組，且飼養所得的成蝶數僅為葉片組的三分之一；自一齡幼蟲生長至蛹羽化為成蝶所需的發育時間，飼料組較葉片組長約 7.8 天；各齡期幼蟲頭殼寬度，飼料組的第一和第二齡較葉片組寬，而第三至第五齡則以葉片組較寬，兩組幼蟲的頭殼寬度皆隨齡期增長以平均約 1.4 倍呈等比增加。飼料組的各齡期幼蟲體長均短於葉片組；蛹重和成蝶體重，飼料組均較葉片組輕；飼料組的翅長和翅寬均短於葉片組。

由此可知，以天然食草飼養昆蟲的結果，通常優於以人工飼料飼育，但就如前述，利用天然食草於人工飼養昆蟲尤其是蝶類時，仍存在一些缺點，因此發展人工飼料乃是必然的趨勢。但如何讓昆蟲取食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，就可能拒食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，以引起取食行為，誘食劑經常是寄主植物的某些特殊成份，可藉著添加 1.5-2.0%的乾燥寄主植物葉片當作誘食劑，但有些報告甚至會添加超過 40%的植物材料。

因此研發蝶類的人工飼料，幾乎都必須含有寄主植物成份才能成功。例如 Genc and Nation (2004) 報導曾為蛾類設計的 PB 飼料配方飼養繁漆蛺蝶(*Phyciodes phaon*)時，只有約 37%剛孵化幼蟲存活成為無生殖力的成蝶，但加入 10%冷凍乾燥寄主植物過江藤(*Phyla nodiflora*)葉片，存活率即可達 66%，且可連續飼養 4 個世代。Yoshio and Ishii (1996)

研究大鳳蝶人工飼料配方就含有 7-9%芸香科柑橘屬植物(*Citrus* spp.)或食茱萸(*Zanthoxylum ailanthoides*)葉片粉末。本試驗研發的大鳳蝶半合成人工飼料配方，僅含有 7.06%文旦葉片粉末，食草比例已相對較低，即可成功飼養得到成蝶。

Holloway *et al.* (1991) 曾提及其在早期試驗以人工飼料飼育蔽眼蝶屬(*Bicyclus* spp.) 蝴蝶，雖有 90%甚至超過 95%的存活率，卻注意到羽化成蟲的翅膀普遍殘缺，似乎是蝴蝶無法從蛾類的飼料中，缺乏某些必需脂肪酸(essential fatty acids)所致，因此他們添加入亞麻仁油(linseed oil)至該次試驗飼料中而解決，並成功地飼養出三種該屬蝴蝶(*B. anynana*, *B. safitza*, *B. ena*)。本試驗所得的成蝶，因飼料組與葉片組都出現部分羽化不正常的畸型蝶，除了供羽化空間太窄為主要因素外，亦可能是類似原因所致，尚待日後試驗改良。

## 結 論

目前昆蟲人工飼料的相關研究，大多優先著重具有高經濟價值或瀕臨絕種亟待保育復育的物種，其中針對鳳蝶科的研發只佔很少比例，雖然方等(2003)曾就昆蟲人工飼料配方研究概況及問題分析，但要配製出讓特定種類蝴蝶在人工飼育下能夠取食，且營養足供其生長發育至完成整個世代，與野外取食寄主植物的正常族群一致的人工飼料，仍然必須歷經無數次實際試驗和調整才能成功，具有相當多的問題得克服。李等(2005)曾提到昆蟲的食性具有種的遺傳性，它是在特定的環境條件下長期適應的結果。人工飼料的研究基本上就是只提供單一食物，以便打破這種遺傳食性的偏好選擇，並取代其天然食草。然而，寄主植物品質是植食性昆蟲繁殖力的關鍵性決定因素，寄主植物的組成(例如：碳、氮和防禦性代謝物)會直接影響草食動物的繁殖力，而昆蟲的生殖策略：卵大小及品質、對卵資源的分配、和產卵地點的選擇，都可能受到寄主植物品質的影響(Awmack and Leather, 2002)。因此，人工飼料的配方就要全面考慮這些需求，才能被昆蟲接受。

本試驗研發的半合成人工飼料配方，僅含 7.06%文旦葉片粉末，飼養本種至成蝶的存活率偏低僅 16%，發育期較葉片組約多 7.8 天；但飼養所得的成蝶體重和翅長、翅寬等皆低於葉片組，且兩處理組並無顯著性差異，在外部形態上也無差異，即算是研發成功的配方。未來應以此為基礎加以改進，以增加大鳳蝶存活率和縮短其發育期，期望能開發出經濟有效的商業化產品，運用於大量飼育繁殖，使本種蝴蝶生產不受季節和寄主植物限制，方便做為飼養觀察的研習教材、教學或研究材料、環境教育生態展示和休閒

農場或觀光蝶園的補充蟲源等。

### 參考文獻

- 方杰、朱麟、楊振德、趙博光。2003。昆蟲人工飼料配方研究概況及問題探討。四川林業科技，24：18-26。
- 李有志、文禮章、馬駿、肖芬。2005。甘薯天蛾幼蟲宜物學特性。湖南農業大學學報(自然科學版)，31：660-664。
- 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。
- 金志美。1986。柑橘鳳蝶的人工飼料。動物園雜誌，6：2-9。
- 陳素瓊、歐陽盛芝。2005。大鳳蝶(*Papilio memnon heronus* Fruhstorfer)的生活史。國立臺灣博物館學刊，58：47-58。
- 陳素瓊、歐陽盛芝、塗文賢。2014。大鳳蝶的形態與四種寄主植物對生長發育的影響。國立臺灣博物館學刊，67：59-94。
- 趙春生、趙純、汪洋。2013。蝴蝶的人工飼料飼養方法發明專利(含權利要求書和說明書)。中華人民共和國國家知識產權局，CN 103380764 A。
- Awmack, C. S., and S. R. Leather. 2002. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annu. Rev. Entomol.*, 47: 817-844.
- Genc, H. 2006. General principles of insect nutritional ecology. *Trakya Univ. J. Sci.*, 7: 53-57.
- Genc, H., and J. L. Nation. 2004. An artificial diet for the butterfly *Phyciodes phaon* (Lepidoptera: Nymphalidae). *Florida Entomologist*, 87: 194-198.
- Holloway, G. J., P. M. Brakefield, S. Kofman, and J. J. Windig. 1991. An artificial diet for butterflies, including *Bicyclus* species, and its effect on development period, weight and wing pattern. *J. Res. Lepid.*, 30: 121-128.
- Kim, S., S. Hong, H. Park, Y. Lee, K. Park, W. Choi, and N. Kim. 2014. An artificial diet for the swallowtail butterfly, *Papilio xuthus*. *Int. J. Indust. Entomol.*, 28: 1-4.
- Mattoni, R., T. Longcore, Z. Krenova, and A. Lipman. 2003. Mass rearing the endangered Palos Verdes blue butterfly (*Glaucopsyche lygdamus palosverdesensis*: Lycaenidae). *J. Res. Lepid.* 37: 55-67.
- Morton, A. C. 1979(81). Rearing butterflies on artificial diets. *J. Res. Lepid.*, 18: 221-227.
- Ngatimin, S. N. A., A. P. Saranga, N. Agus, A. Achmad, and I. Ridwan. 2014. Two artificial diet formulations for *Troides helena* Linne larvae (Lepidoptera: Papilionidae) in Bantimurung-Bulusaraung National Park, south Sulawesi. *Int. J. Sci. Tech. Res.*, 3:

170-173.

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

Yoshio, M., and M. Ishii. 1996. Rearing larvae of the Great Mormon butterfly, *Papilio memnon* L. (Lepidoptera: Papilionidae), on artificial diet. *Jpn. J. Ent.*, 64: 30-34.

中山勇、長沢純夫、清水春子。1969。乾燥葉粉末を含まない完全合成飼料によるアゲハ幼虫の飼育。応動昆，13：86-89。

釜野静也。1965。人工飼料によるアゲハ幼虫の飼育。応動昆，9：133-135。

最上絵里。1998。人工飼料によるチョウの飼育。インセタリウム(The Insectarium)，35：12-17。

105年 7月22日投稿

105年10月20日接受