

柑橘鳳蝶的生活史

游書萍¹ 歐陽盛芝² 陳素瓊^{1*}

¹ 國立宜蘭大學園藝學系

² 國立臺灣博物館

摘要

本研究探討柑橘鳳蝶 (*Papilio xuthus xuthus* Linnaeus) (鱗翅目：鳳蝶科) 的外部形態描述和生活史。本試驗在簡易網室內採柑橘鳳蝶當日產卵，置於 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ，相對濕度 $80 \pm 5\%$ ，光週期 14L:10D 的生長箱中，待幼蟲孵化後以芸香科(Rutaceae)酸橘(*Citrus sunki* Hort.) 葉片單隻飼育，每日觀察和記錄各蟲期的形態和生長發育情形。試驗結果顯示在此飼育條件下，本蝶種能完成其生活史，自卵發育至蛹羽化為成蝶的存活率是 28.8%，平均發育日數是 40.53 ± 0.98 日。幼蟲頭殼寬度超過 4.11 mm 的閾值即可進入化蛹階段。幼蟲頭殼寬度隨齡期以 1.5 倍之等比增加，體長隨齡期以 1.6 倍之比增加，幼蟲頭殼寬度和體長的常用對數均與齡期間呈迴歸直線關係，兩者皆符合戴爾法則。本蝶種雌、雄蝶性比均符合 1:1。上述結果期能提供本蝶種未來引入生態休閒農場或觀光蝶園參考，將柑橘鳳蝶從果樹害蟲轉型為可人工飼育、大量繁殖的有用昆蟲。

關鍵詞：柑橘鳳蝶 (*Papilio xuthus xuthus* Linnaeus)、形態、生活史、頭殼寬度、體長。

*通訊作者。E-mail: scchen@niu.edu.tw

The Life History of Chinese Yellow Swallowtail (*Papilio xuthus xuthus* Linnaeus)

Shu-Ping You¹ Sheng-Chih Ou-Yang² Su-Chiung Chen^{1*}

1. Department of Horticulture, National Ilan University

2. National Taiwan Museum

Abstract

This study focused on the basic biological data of Chinese yellow swallowtail (*Papilio xuthus xuthus* Linnaeus) (Lepidoptera: Papilionidae), including morphology and life history. Fresh eggs of the Chinese yellow swallowtail were collected from host plants in a simple greenhouse. These eggs were placed in a growth chamber under conditions of $25 \pm 1^\circ\text{C}$, $80 \pm 5\%$ RH, and with a photoperiod of 14 hr of light and 10 hr of darkness. Hatching larvae were individually reared with leaves of Rutaceae, *Citrus sunki* for a series of observations and recording their morphology and development data. Results indicated Chinese swallowtail could complete whole life history under this reared condition. The survival rate from egg to adult emergence was 28.8%, and the average developmental period was 40.53 ± 0.98 days. Larva with head capsule wider than 4.11 mm was destined to become pupae at the next ecdysis. The increment of the head capsule width of the larva was in accordance with the increase in the larval instar stage, it maintained a ratio of 1.5 times. Also, as the larval instar increased, the body length increased at the same time from 1.6 times. A linear regression relationship was existed between the common logarithms of head capsule width of larva and the larval instar stages. The common logarithms of body length of larvae and the larval instar stages also had a linear regression relationship. Both fitted with the Dyar's law. The sex ratio of female per male adults was matched 1:1. We expect these results could provide some reference information for application in leisure agriculture areas and sightseeing butterfly gardens in future. Chinese yellow swallowtail was transformed from fruit tree insect pest into favorable insect for artificial rearing, mass reproduction and utilization.

Keywords: Asian swallowtail (*Papilio xuthus xuthus* Linnaeus), morphology, life history, head capsule width, body length.

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

壹、前言

柑橘鳳蝶 (*Papilio xuthus xuthus* Linnaeus) 屬於鱗翅目 (Lepidoptera), 錘角亞目 (Rhopalocera), 鳳蝶科 (Papilionidae), 為具有尾突的中小型鳳蝶, 英名為 Asian swallowtail、Chinese yellow swallowtail、Japanese yellow swallowtail butterfly、small citrus dog 或 *xuthus* swallowtail, 別名為花椒鳳蝶、鳳蝶、桔鳳蝶、燕鳳蝶、鳳子蝶、春鳳蝶、準鳳蝶 (楊等, 1994; 白等, 1996; 白和王, 1998; 楊, 1998; 遲和巖, 2001; 徐, 2013), 此種鳳蝶可以作為鳳蝶科蝶類的代表 (陳, 1974)。本種在分類上歸類鳳蝶屬 (*Papilio* Linnaeus) 的華鳳蝶亞屬 (*Sinoprinceps* Handcock), 此亞屬為東方特有種, 全世界只有兩種, 一種產於馬來西亞, 另一種產於中國的分為三個亞種, 包括分布於中國各地的 *Papilio xuthus xuthus* Linnaeus、分布於臺灣的 *Papilio xuthus koxinga* Fruhstorfer、和分布於西藏和四川的 *Papilio xuthus neoxuthus* Fruhstorfer (白和王, 1998)。但根據徐 (2013) 圖鑑指出臺灣的柑橘鳳蝶族群與指名亞種無異, 學名為 *Papilio xuthus xuthus* Linnaeus。

柑橘鳳蝶主要分布於日本、韓國、臺灣、中國各地、緬甸北部、菲律賓呂宋島、印度、越南、馬來西亞、寮國、關島及海南島等 (陳, 1974; 易, 1985; 李和張, 1988; 蕭, 1992; 張和蔡, 1993; 楊等, 1994; 李和王, 1995; 趙和王, 1996; 1997; 何, 1997; 白和王, 1998; 徐, 2002、2013)。在臺灣的分布情形, 張和蔡 (1993) 認為以平地至 1,000 公尺左右的山區較多, 桃園復興鄉的巴陵山地、新竹觀霧、南投東埔、綠島、蘭嶼等地皆有採集記錄, 但澎湖無採集記錄。其他學者則提出在臺灣本島為中北部常見之蝶種 (何和張, 1998), 主要分布於平地到 2,500 公尺山區 (李和王, 1995; 白和王, 1998); 南部較少, 也分布於金門、馬祖地區、綠島、蘭嶼 (陳, 1974; 李和王, 1995) 及臺東的低海拔山區, 但數量皆不多 (趙和方, 2002)。

柑橘鳳蝶在臺灣一年可完成四至五個世代 (蕭, 1992), 全年可見到成蝶及各蟲期 (徐, 2002), 成蝶發生期為 3-11 月 (白和王, 1998; 何和張, 1998), 其中以 7、8 月期間為主要發生期 (李和王, 1995)。成蝶飛行迅速, 喜好訪花及吸蜜, 或群聚於河床潮濕地面上吸水 (何, 1997)。

柑橘鳳蝶的幼蟲為寡植食性 (oligophagous) (Honda and Hayashi, 1995), 寄主植物以芸香科 (Rutaceae) 為主, 包括柑橘屬 (*Citrus* spp.) 植物、雙面刺 (*Zanthoxylum nitidum*)、食茱萸 (*Z. ailanthoides*)、枸橘 (*Poncirus trifoliata*) (李和張, 1988; 李和王, 1995;

趙和王，1997)、賊仔樹(臭辣樹, *Tetradium glabrifolium*) (張，2008)等。柑橘鳳蝶幼蟲主要取食範圍分別為芸香科的柑橘屬、黃蘗屬 (*Phellodendron*)、花椒屬 (*Zanthoxylum*) (含已改為崖椒亞屬的崖椒屬 *Fagara*)、臭辣樹屬 (*Tetradium*)、飛龍掌血屬 (*Toddalia*) 等 5 個屬植物 (陳，1988；蕭，1992；Honda and Hayashi, 1995；白等，1996；趙和王，1996；何，1997；白和王，1998；李和王，1999；遲和嚴，2001；徐，2003、2013；林，2005；沈，2005)。

柑橘鳳蝶成蟲飛行迅速，經常活動於林道花叢與幼蟲寄主植物之間，喜於陽光充足地區活動及吸食多種植物的花蜜，雄蝶會集體於溪邊、路旁、山溝等濕地上吸水 (張，2002)。主要的蜜源植物為金露花 (*Duranta repens*)、馬纓丹 (*Lantana camara*) 等喇叭形小花 (張和蔡，1993)、蟛蜞菊 (*Wedelia triloba*)、海埔姜 (*Vitex rotundifolia*) (王和李，1998)、朱槿 (*Hibiscus risa-sinensis*) (濱野，1986)、仙丹花 (*Ixora chinensis*)、繁星花 (*Pentas lanceolata*)、冇骨消 (蒴藿, *Sambucus formosana*) (李和王，1996；1999)、賊仔樹、食茱萸等，其中賊仔樹和食茱萸為木本蜜源植物，也是蝴蝶幼蟲的寄主植物 (林，2005)。

雖然柑橘鳳蝶被列入臺灣柑橘害蟲之一 (羅和邱，1985)，在中國曾報導是城市綠地植物蟲害之一 (遲和嚴，2001)，但實際並無資料顯示對柑橘屬經濟作物的危害程度，目前亦非柑橘的主要害蟲。本蝶種成蝶斑紋近似無尾鳳蝶 (*Papilio demoleus libanius* Fruhstorfer) 和黃鳳蝶 (*P. machaon sylvina* Hemming)，但不論其幼蟲或成蟲，美感遠凌駕於相似的中型美麗種蝴蝶，甚至可與大型蝴蝶相匹敵，極具觀賞價值。然而在臺灣目前只有一些書籍的圖鑑資料，較缺乏學術性基礎生物學研究報告，因此本試驗從柑橘鳳蝶外部形態觀察描述到建立其生活史基本資料，做為日後大量飼養繁殖的參考。

貳、材料與方法

一、供試蟲源及飼養方法

由宜蘭縣龍潭國小取得柑橘鳳蝶 (*Papilio xuthus xuthus* Linnaeus) 8 隻雌蝶及 8 隻雄蝶，攜回放入以鍍鋅管搭建，外覆百吉網的簡易網室 (長 6.1 m、寬 2.5 m、高 1.9 m)，網室內栽種幼蟲寄主植物如芸香科的酸橘 (*Citrus sunki*)、四季橘 (*C. microcarpa*)、金棗 (*Fortunella margarita*)、食茱萸及賊仔樹等植物，以及成蟲蜜源植物如馬纓丹、日日春 (*Catharanthus roseus*)、繁星花、非洲鳳仙花 (*Impatiens wallerana*) 和長穗木 (*Stachytarpheta jamaicensis*) 等植物，提供孵化幼蟲取食生長發育、成蝶吸蜜、求偶、

交配及雌蝶產卵等用途；此外，網室內的大型植栽如樟樹 (*Cinnamomum camphora*) 等植物，可讓成蝶活動、交配停棲和遮陰避雨等。

每日檢查寄主植物葉片，將雌蝶產下卵粒的含卵葉片帶回實驗室，葉柄以棉花裹住，加水保鮮，然後放置於透明小型塑膠盒（杯口直徑 9.2 cm、底部直徑 8 cm、高 5.88 cm、容量 250 cc）進行飼養，透明塑膠盒蓋以針刺密集小孔以流通空氣，每日將剛孵化幼蟲以毛筆移至乾淨的相同規格容器飼養，放入新鮮酸橘葉片供幼蟲取食並且清理其糞便，待幼蟲發育至三齡後，再移到透明壓克力箱（長 30 cm、寬 30 cm、高 30 cm）飼養至化蛹且羽化為成蝶，每日供給新鮮乾淨酸橘葉片，且清理壓克力箱保持整潔，將剛羽化成蝶放入前述簡易網室內交配產卵，待供試蟲源飼養繁殖至第三代，族群數量穩定且每日產卵數足供試驗後，才開始進行本試驗。

二、供試用寄主植物

試驗前先自宜蘭縣青果合作社購買 50 株酸橘 (*Citrus sunki*) 實生苗，種植於 10 吋花盆中成為寄主植物盆栽，置放於室外，每日澆水照護，約一至二星期噴施就以花寶 3 號液肥，稀釋 1000 倍，待其生長至植株高約 120 cm，約含 50-80 片葉片時，即可用於試驗。

三、各蟲期形態特徵觀察及生活史

試驗當天檢查供試的酸橘盆栽植株葉片，確無蟲卵、幼蟲及蜘蛛等生物並摘除枯黃葉片後，搬入網室內供柑橘鳳蝶雌蝶產卵，隔日再移出供試酸橘盆栽檢查植株葉片，採集含卵葉片合計 52 粒卵攜回實驗室，將葉柄以棉花裹住，加水保鮮，置入前述透明小型塑膠盒中，再放入 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 、 $80 \pm 5\%\text{RH}$ 、光週期 14L:10D（5:00 開燈，19:00 關燈）條件的生長箱內飼育，待卵孵化的一齡幼蟲即以毛筆移至於前述透明小型塑膠盒中單隻飼養，每日提供足夠的酸橘葉片供幼蟲取食並清理飼育容器，幼蟲發育至三齡後即更換至較大型塑膠盒（杯口直徑 11 cm、底部直徑 9 cm、高 8 cm、容量約 500 cc）飼育。透明塑膠盒蓋亦以針刺較大孔洞，以流通空氣。供試幼蟲化蛹後，在飼養容器放入折成長條形的衛生紙，以利成蝶攀附羽化。

試驗用的新鮮酸橘葉片，採摘後皆先行擦拭乾淨並於葉柄包裹含水保濕棉花保鮮。剛孵化的一齡幼蟲以嫩葉餵食，第二齡後再逐漸餵食較成熟葉片。每日以目視法觀察、測量、記錄各蟲期的形態特徵和生長發育情形，並以數位相機拍照記錄；成蝶製成針插

乾燥標本供形態觀察及特徵描述依據。

同時依測量記錄資料計算出各蟲期存活率、發育日數、幼蟲頭殼寬度與體長、蛹重、蛹長與蛹寬、成蝶翅長、翅寬與成蝶性比等，並製成圖表。

四、資料分析方法

本試驗所有生物學基本資料如各蟲期發育日數、各齡期幼蟲體長、頭殼寬度、蛹重、蛹長、蛹寬、成蝶翅長、翅寬等數據皆以 SAS System version 9.1 for windows 統計軟體 (PROC MEANS, SAS Institute 2003) 計算平均值 (Mean) 和標準誤差 (Standard Error)。各齡幼蟲體長與齡期間的相關性採用迴歸分析 (PROC REG) 進行分析。雌、雄蝶性比例依卡方 (X^2) 適合性測驗 (Chi-square test for goodness of fit) 計算。

參、結果與討論

一、各蟲期形態特徵

(一) 卵期

柑橘鳳蝶的卵粒呈圓球型，平滑且具光澤，與李和張 (1988) 及徐 (2002) 結果相同；剛產下的卵粒為淺黃色，隨著卵胚胎發育會漸漸形成黃色 (圖 1A)，受精卵於 1-2 天後會產生受精斑，至快孵化時呈現較暗沈的黃褐色 (圖 1B) 甚至接近灰黑色，但未受精卵則保持為黃色，此種現象與李和張 (1988)、陳 (1988)、蕭 (1992) 及盧 (1999) 所描述的相同，但與遲和嚴 (2001) 所述剛產下卵粒為白色不同。

有關卵的尺寸，本試驗得知卵直徑約 1.0-1.3 mm，平均 1.18 ± 0.03 mm，卵高約 0.86-1.16 mm，平均 1.07 ± 0.05 mm，較李和張 (1988) 調查卵直徑約 1.20 mm、濱野 (1986) 提出約 1.20 mm、陳 (1988) 所述約 1.2-1.3 mm 及蕭 (1992) 的約 1.2-1.4 mm 略小；但比李和楊 (2005) 報導卵直徑約 1.0 mm，高約 1.0 mm、徐 (2002) 說明卵直徑約 1.0 mm，高約 1.0 mm、及盧 (1999) 所提卵直徑為 0.8 - 0.9 mm 均略大。

本蝶種喜將單粒卵產於寄主植物的新芽、枝條、嫩葉、老葉的葉背和葉面上，本試驗雌蝶除將卵產於植物新芽 (圖 1C) 外，大多產卵於葉片的邊緣 (圖 1D)，亦發現產在寄主植物周圍物體，這種現象可能是因受限於網室空間和寄主植物數量有限所造成。

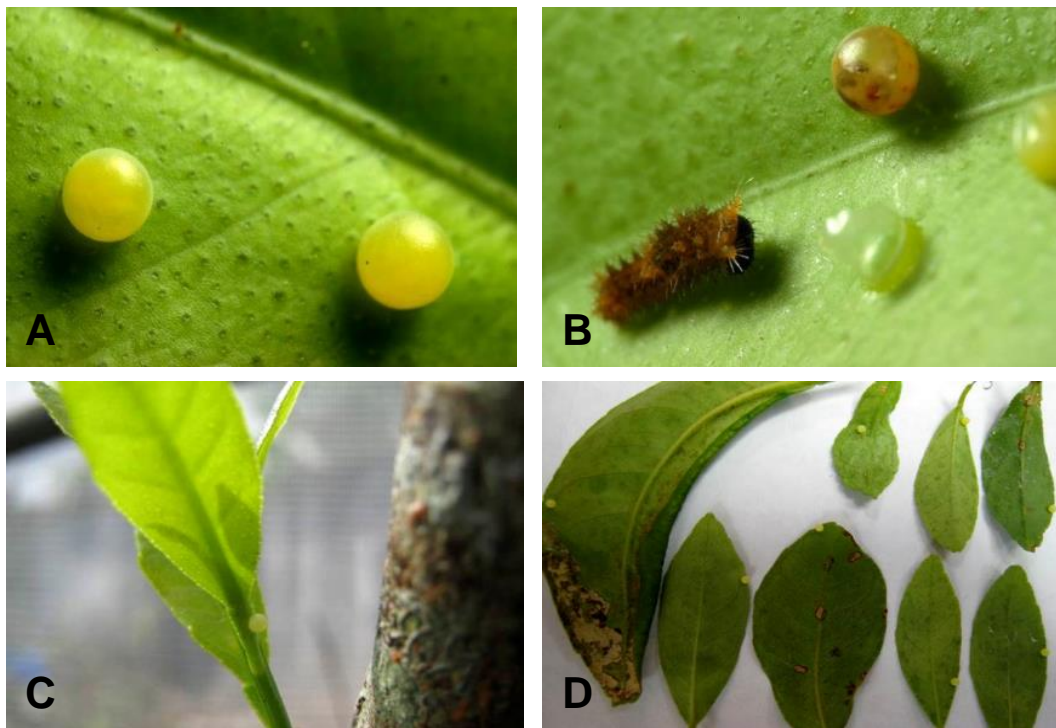


圖 1. 柑橘鳳蝶的卵形態和產卵於寄主植物位置：A. 卵粒；B. 快孵化的卵和剛孵化的一齡幼蟲；C. 卵產於嫩芽上；D. 卵產於葉背邊緣不同位置。

Fig.1. Morphology of egg of *Papilio xuthus xuthus* and its positions of female oviposition on hostplant: A. eggs; B. Hatching egg and the first-instar larva; C. Egg laid on the shoot; D. Eggs laid on the different site of leaves backside.

(二)幼蟲期

由本試驗結果得知，柑橘鳳蝶的幼蟲期分為五個齡期，隨著齡期的增加，體型及食量也會逐漸增大，其中第一至第四齡幼蟲體長增加較不明顯，但到了第五齡，體長和食量會明顯增加。並且第一齡至第四齡幼蟲外形擬態呈鳥糞狀，與陳（1988）和徐（2002）報導相符。

剛孵化的第一齡幼蟲會先用大顎將自己的卵殼吃掉（圖 2A）當做第一餐，以補充蟲體養分，接著才尋找寄主植物固著取食葉片；體色最初呈淡褐色，然後轉變成深褐色，頭部為黑色，體表佈滿成簇的剛毛，但是這些剛毛在第一次蛻皮後即消失，胸部第一節呈現米黃色，第三至第五腹節呈現淡咖啡色的 V 字形斑紋。本試驗的結果與盧（1999）描述的特徵相似，近似陳（1988）及徐（2002）報導幼蟲體色底色為黑褐色，但與蕭（1992）觀察幼蟲體色為黑色明顯不同。

第二齡幼蟲的每個體節兩側上分布對稱的褐色棘毛瘤突 (tubercles)，腹部第三和第四節上的瘤突為白色，且第三至第五腹節呈現白色斑紋，腹足白色透明，頭部後方具有可翻出的橘紅色叉狀臭角 (osmeterium) (圖 2B)，每當受到驚擾時隨即翻出，並釋出具有刺激性的芸香科植物味道來自我防衛。

第三齡幼蟲的頭部深褐色，身體為黑褐色，每個體節上的棘毛瘤突較退化；第二至第五腹節及第九至第十腹節兩側處有白色斑紋 (圖 2C)，體節明顯分成 13 節，具有三對胸足、四對腹足、及一對肛足。此結果與李和張 (1988) 及徐 (2002) 描述的特徵相同。第四齡幼蟲的體色變得更鮮明，胸部第一節和腹部第一至第八節上各具一對氣孔，共有九對氣孔，四對腹足為白色，第九至第十腹節兩側處具黑色斑點 (圖 2D)。

第五齡幼蟲的體色呈翠綠色，頭部為綠色，受威脅時常翻出頭部後方的橘黃色臭角 (圖 2E) 防禦，胸部第二節處有黑色外圈的紅色假眼紋，還有一條黑色圈紋，胸部第三節分別有藍色、黑色兩條斑紋 (圖 2F)，腹部第四至第五節具深藍色及白色兩條 V 字形斑紋，第六至第七和第八腹節各有黑色與白色弧形斑紋，且第四至第六腹節具有散狀的橘色斑點，各體節之基線和上腹線皆有白色塊狀斑紋 (圖 2G、H)。本試驗結果與盧 (1999) 提到第五齡幼蟲體色會轉變為暗綠色或黃綠色，體背具三條黑色斜紋，胸部膨大，中部具黑色半環狀線紋，兩側各具一個眼狀斑情形相同；類似徐 (2002) 指出第五腹節處有一條類似斜條，兩者均於背側左右相逢；但與易 (1985)、李和張 (1988) 及徐 (2002) 之描述略有差異。

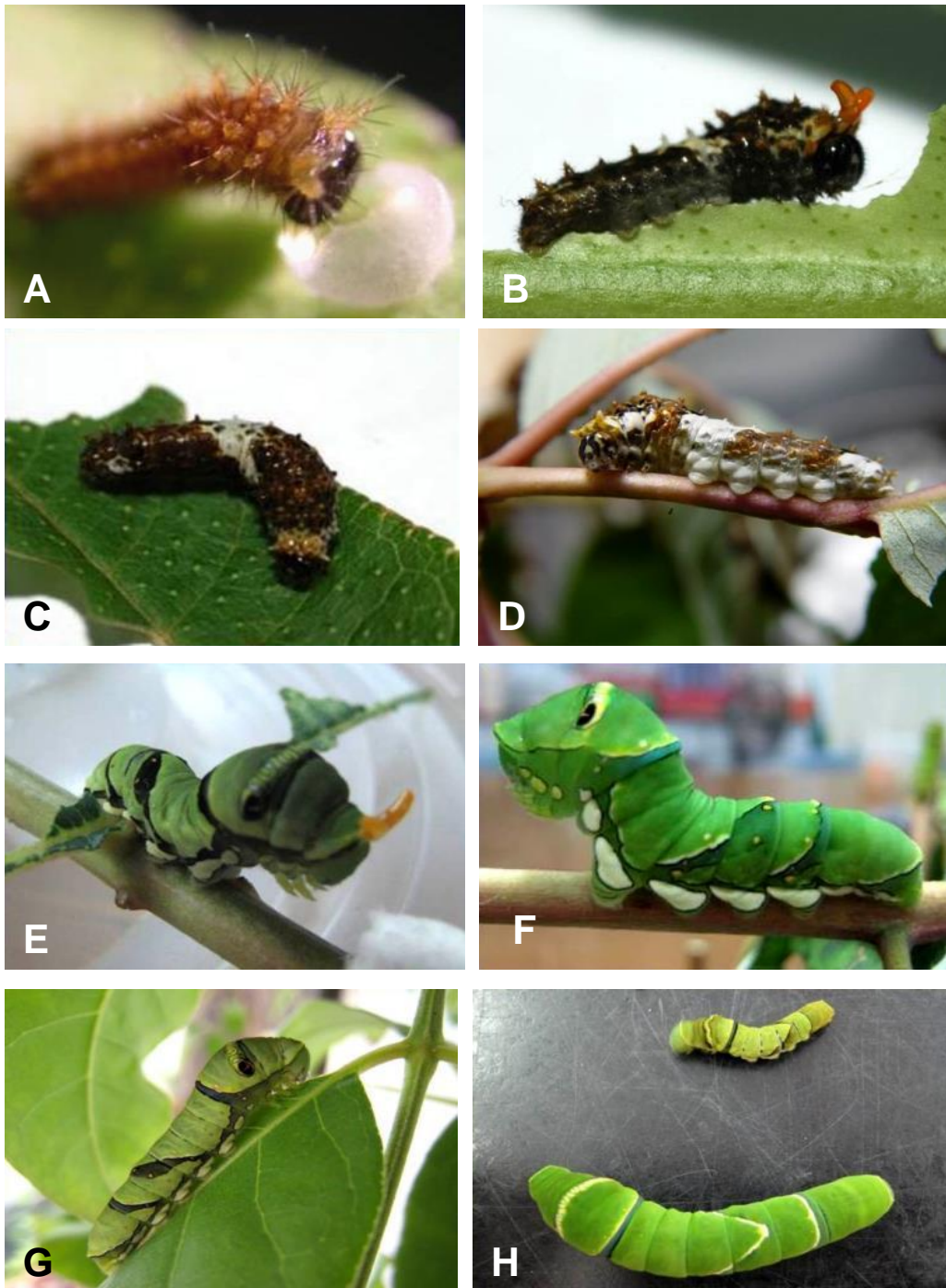


圖 2. 柑橘鳳蝶的各齡期幼蟲形態：A. 剛孵化取食卵殼的一齡幼蟲；B. 伸出臭角的二齡幼蟲；C. 三齡幼蟲；D. 四齡幼蟲；E. 伸出臭角的五齡幼蟲；F, G. 五齡幼蟲；H. 剛蛻皮（上）與老熟（下）的五齡幼蟲。

Fig.2. Morphology of various larval stages of *Papilio xuthus xuthus*: A. First-instar larva feeding on its eggshell; B. Second-instar larva showing its osmeterium; C. Third-instar larva; D. Fourth-instar larva; E. Fifth-instar larva showing its osmeterium; F, G. Fifth-instar larva; H. Fifth-instar newly exuviated (up) and matured (down) larvae.

(三) 蛹期

化蛹前之老熟（第五齡末）幼蟲會先排泄含有水分的結晶狀糞便，開始尋找隱蔽化蛹場所，吐絲將身體固定，此時腹足緊握樹枝（圖 3A），約二至三小時後腹足釋放，接著身體縮短彎曲，形成前蛹（圖 3B），前蛹期約 24 小時，然後蛻去第五齡幼蟲的皮和頭殼化蛹，在蛹體第十腹節尾端形成懸垂器，且於腹部第二節上另有一白色環絲線（胸線）繫於附著物形成帶蛹（圖 3C）。本試驗的成熟蛹為綠色型，腹面有兩個黃色三角形斑紋成對稱，第二至第七腹節各有一對氣孔，中胸背方有一個短錐狀的突起物，頭部前端部分中間有點凹陷，呈現分岔情形。此結果與徐（2002）、蕭（1992）、盧（1999）描述大致相符，至於本蝶種固定蛹體兩端的胸線（絲線）為白色，與李和張（1988）所述相同。但李和張（1988）、徐（2002）、李和楊（2005）提及本蝶種蛹色有綠色和褐色兩型，而本試驗在 25°C 以酸橘飼育結果卻僅出現綠色型蛹。

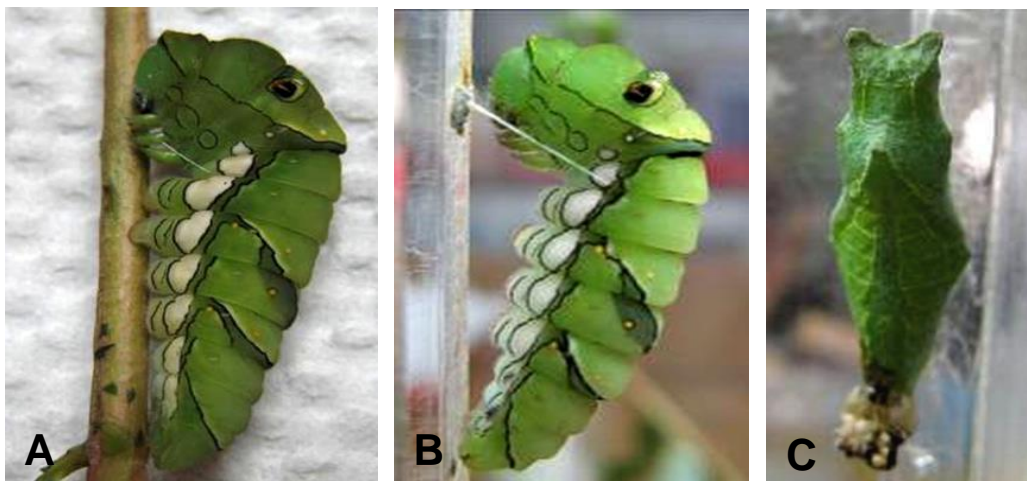


圖 3. 柑橘鳳蝶前蛹和蛹的形態：A. 腹足緊握樹枝的前蛹；B. 前蛹；C. 綠色型蛹。
 Fig. 3. Morphology of prepupa and pupa of *Papilio xuthus xuthus* : A. Prepupa using abdominal legs hold on twig; B. Prepupa; C. Green-type pupa.

(四) 成蟲期

柑橘鳳蝶的蛹殼在羽化前已變透明，由外觀可見已形成成蝶體色。由羽化的雄蝶和雌蝶背面（圖 4A、C）可知，複眼為黑色，體側有黑灰色的毛，前後翅底色和各翅脈均為黑色，後翅內緣略反捲，中室與靠中室外側有淺黃色斑紋，前後翅亞外緣各室有大大小小的淺黃色弦月紋，後翅外緣部分有很明顯的波浪紋，且於第四翅脈有黑色的燕尾狀突起（尾突），雌、雄蝶的形態近似，不易區辨，但雌蝶翅膀臀角（肛角）有一枚環形紅橙色斑紋，而雄蝶此斑紋並不明顯，後翅有一枚黑斑紋較雌蝶明顯，因此即使在野外

常見到交配的本種成蝶(圖 4E)，一般難以區分其性別，此結果與盧(1999)、楊等(1994)所述相同。試驗結果雄蝶和雌蝶的腹面斑紋(圖 4B、D)與背面類似，只是體色色彩較淡，與李和楊(2005)觀察結果相同。總之，本試驗結果與易(1985)、李和張(1988)、趙和王(1997)、何和張(1998)、盧(1999)、徐(2002)、李和楊(2005)所敘述的成蟲外部形態大致相同。本試驗飼育所得翅膀正常的成蝶，均可正常飛翔、交尾及繁殖後代的能力。

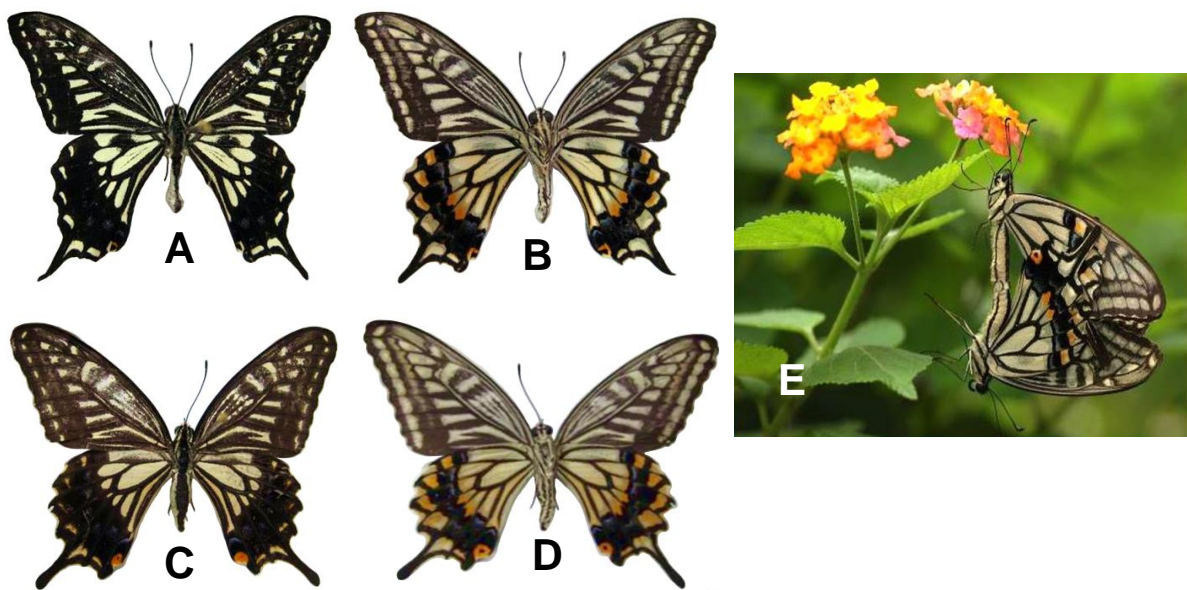


圖 4. 柑橘鳳蝶成蝶形態：A. 雄蝶（背面）；B. 雄蝶（腹面）；C. 雌蝶（背面）；D. 雌蝶（腹面）；E. 交尾的雌雄蝶。

Fig. 4. Morphology of adults *Papilio xuthus xuthus*: A. Male (dorsal view); B. Male (ventral view); C. Female (dorsal view); D. Female (ventral view); E. Mating of male and female.

二、存活率

柑橘鳳蝶在 $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、 $80 \pm 5\% \text{RH}$ 、光週期 14L:10D 條件下，以酸橘飼養的各蟲期存活率如表 1。在供試卵的 52 粒中孵化 36 粒，存活率為 69.2%。有 34 隻第一齡幼蟲存活，存活率為 94.4%，但至第二齡、第三齡、第四齡幼蟲時均為 33 隻，存活率依序為 97.1%、100%、100%，第五齡幼蟲存活 32 隻，存活率為 97.0%，因此整個幼蟲期的存活率為 61.5%。發育至蛹期僅 15 隻，故蛹的存活率為 46.9%，這些蛹均可羽化為成蝶，因此自卵發育至蛹羽化為成蝶的存活率是 28.8%，雖然飼育至蛹期的存活率低，但所有的蛹皆能羽化成蝶；若從 100 粒卵飼養只能獲得將近 29 隻成蝶，死亡率最高的階段為蛹期，其次是卵期，因此日後若想應用於大量飼育生產，必須設法提高蛹的存活率和卵

的孵化率，以增加成蝶收獲量。

表 1. 柑橘鳳蝶各蟲期的存活率

Table 1. The survival rate (%) of various development stage of *Papilio xuthus xuthus*

Life stage	Survival rate (%)	<i>n</i> ¹⁾
Egg	69.2	36
1st instar larva	94.4	34
2nd instar larva	97.1	33
3rd instar larva	100.0	33
4th instar larva	100.0	33
5th instar larva	97.0	32
Larva	61.5	32
Pupa	46.9	15
Egg to Pupa	28.8	15

1) *n* is the number of observed.

三、發育期

本種各蟲期的發育日數如表 2。卵期約 4-6 日，平均 4.08 ± 0.06 日；第一齡至第五齡幼蟲的發育日數依序為 3.82 ± 0.18 、 4.21 ± 0.26 、 4.33 ± 0.11 、 5.09 ± 0.16 、 8.84 ± 0.39 日，前蛹期為 1 日，併入幼蟲期計算，故整個幼蟲期所需的發育日數為 27.31 ± 0.62 日；蛹期的發育日數為 11.80 ± 0.20 日，因此自卵發育至蛹羽化為成蝶的發育日數是 40.53 ± 0.98 日。在常溫的條件下，李和張（1988）、白和王（1998）報導柑橘鳳蝶幼蟲期約 21 日，李和王（1995）則是 24 日，均較本試驗結果短，其原因可能是常溫範圍約 $25-30^{\circ}\text{C}$ ，飼養溫度較高所致。此外，李和張（1988）指出本種非越冬蛹期為 15 日，越冬蛹期長達 3 個月，均較本試驗結果長。

本試驗幼蟲期的發育日數範圍以第五齡幼蟲從 7-16 日，變化較大，即最長日數超過最短的兩倍，其中約半數蛹可能因發育遲滯而延後蛻皮時間或化蛹失敗，導致蛹期存活率偏低。因此自卵孵化至蛹羽化為成蝶所需的時間最短 34 日，最長 45 日，差距達 11 日。

表 2. 柑橘鳳蝶各蟲期的發育日數

Table 2. The developmental periods of various development stage of *Papilio xuthus xuthus*

Life stage	Developmental period (Mean±SE, days)	Range (days)	<i>n</i> ¹⁾
Egg	4.08 ± 0.06	4-6	36
1st instar larva	3.82 ± 0.18	3-6	34
2nd instar larva	4.21 ± 0.26	3-9	33
3rd instar larva	4.33 ± 0.11	3-6	33
4th instar larva	5.09 ± 0.16	4-7	33
5th instar larva	8.84 ± 0.39	7-16	32
Larva	27.31 ± 0.62	—	32
Pupa	11.80 ± 0.20	11-13	15
Egg to Pupa	40.53 ± 0.98	34-45	15

1) *n* is the number of observed.

四、幼蟲頭殼寬度

本試驗飼育所得各齡期幼蟲的頭殼寬度如表 3。第一齡至第五齡幼蟲的頭殼寬度依序為 0.81 ± 0.02 、 1.26 ± 0.03 、 1.85 ± 0.02 、 2.57 ± 0.04 、 4.11 ± 0.05 mm，即幼蟲的頭殼寬度隨齡期增加而增大。將幼蟲連續齡期的次一齡期與前一齡期平均頭殼寬度相除得到平均頭殼寬度比如表 4。

表 3. 柑橘鳳蝶各齡期幼蟲的頭殼寬度

Table 3. The head capsule width of each instar larva of *Papilio xuthus xuthus*

Larval stage	Head capsule width (Mean±SE, mm)	Range (mm)	<i>n</i> ¹⁾
1st instar larva	0.81 ± 0.02	0.59-1.00	34
2nd instar larva	1.26 ± 0.03	1.11-1.52	33
3rd instar larva	1.85 ± 0.02	1.54-2.11	33
4th instar larva	2.57 ± 0.04	2.16-3.11	33
5th instar larva	4.11 ± 0.05	3.81-4.71	32

1) *n* is the number of observed.

戴爾 (Harrison G. Dyar) 曾測試許多種鱗翅目幼蟲，在兩個連續齡期間，其幼蟲頭殼寬度會增加，常呈現一定的比率，亦為呈幾何級數而增長，簡稱戴爾法則 (Dyar's law or Dyar's rule)，若以幼蟲齡期為橫座標，各齡頭殼寬度的對數為縱座標，所示各點連接

而呈現一直線(關, 1987)。本蝶種幼蟲頭殼寬度隨齡期以 1.39-1.60 倍增長, 平均為 1.51 ± 0.05 倍, 即頭殼寬度隨齡期增加以平均約 1.5 倍之等比增加, 符合戴爾法則。

表 4. 柑橘鳳蝶各齡期幼蟲次一齡期和前一齡期的平均頭殼寬度比

Table 4. The average ratio of head capsule width of the subsequent divided by this instar larva of *Papilio xuthus xuthus*

Larval stage	Average ratio of head capsule width of next and current instar
2nd / 1st instar	1.56
3rd / 2nd instar	1.47
4th / 3rd instar	1.39
5th / 4th instar	1.60
Average (Mean \pm SE)	1.51 ± 0.05

1) n is the number of observed.

柑橘鳳蝶幼蟲頭殼寬度的常用對數 (Y) 與齡期 (X) 的關係以直線迴歸分析結果如圖 5。本試驗的直線迴歸方程式和相關決定係數 (R^2) 為 $Y = 0.1720 + 0.2561 X$ ($R^2 = 0.9972^{**}$), 相關決定係數平方經 t 測驗分析得知, 存在極顯著之正相關 ($p < 0.01$), 表示此條迴歸直線存在, 即本蝶種幼蟲的頭殼寬度常用對數確隨齡期增加而呈直線關係。

柑橘鳳蝶的第五齡幼蟲通稱為末齡幼蟲, 快化蛹前的幼蟲亦稱為老熟幼蟲, 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。由本試驗可知, 當幼蟲頭殼寬度超過 4.11 mm 的閥值即可進入化蛹階段。

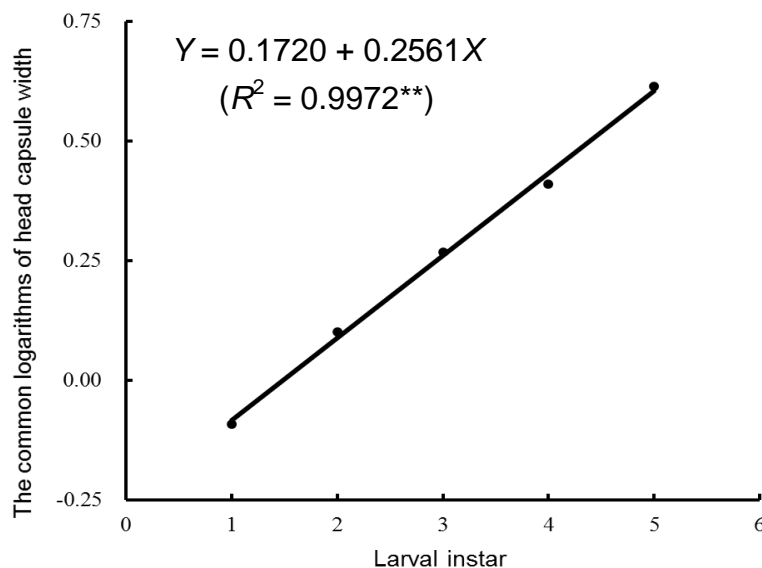


圖5. 柑橘鳳蝶各齡期幼蟲頭殼寬度常用對數 (Y) 與齡期 (X) 之關係。

Fig.5. The relationship between the common logarithms of head capsule width of each instar larva of *Papilio xuthus xuthus*.

五、幼蟲體長

本蝶種各齡期幼蟲的體長如表 5。剛孵化的第一齡幼蟲體長約 3.67-4.26 mm，平均 3.97 ± 0.03 mm；蛻皮後的第二齡幼蟲體長約 5.13-7.74 mm，平均 6.35 ± 0.09 mm；第三齡幼蟲體長約 6.95-10.65 mm，平均 8.81 ± 0.17 mm；第四齡幼蟲體長約 12.42-19.17 mm，平均 15.38 ± 0.23 mm；第五齡幼蟲體長約 20.74-29.15 mm，平均 24.57 ± 0.34 mm。本試驗的體長是測量剛孵化和剛蛻皮幼蟲所得數值，因此取食足夠寄主植物準備化蛹前老熟的幼蟲，其體長可達 33-36 mm（圖 2H），體長幾為新蛻皮者的 1.6 倍。本蝶種幼蟲的體長亦隨齡期增加而增長。

將幼蟲連續齡期的次一齡期與前一齡期平均體長相除得到平均體長比如表 6。可知本蝶種幼蟲體長隨齡期以 1.39-1.75 倍增長，平均為 1.59 ± 0.07 倍，即體長隨齡期增加以 1.6 倍之等比增加，亦符合戴爾法則。

表 5. 柑橘鳳蝶各齡期幼蟲的體長

Table 5. The body length of each instar larva of *Papilio xuthus xuthus*

Larval stage	Body length (Mean \pm SE, mm)	Range (mm)	<i>n</i> ¹⁾
1st instar larva	3.97 ± 0.03	3.67-4.26	36
2nd instar larva	6.35 ± 0.09	5.13-7.74	34
3rd instar larva	8.81 ± 0.17	6.95-10.65	33
4th instar larva	15.38 ± 0.23	12.42-19.17	33
5th instar larva	24.57 ± 0.34	20.74-29.15	33

1) *n* is the number of observed.

表 6. 柑橘鳳蝶各齡期幼蟲次一齡期和前一齡期的平均體長比

Table 6. The average ratio of body length of the subsequent divided by this instar larva of *Papilio xuthus xuthus*

Larval stage	Average ratio of body length of next and current instar
2nd / 1st instar	1.60
3rd / 2nd instar	1.39
4th / 3rd instar	1.75
5th / 4th instar	1.60
Average (Mean \pm SE)	1.59 ± 0.07

1) *n* is the number of observed.

將本試驗所得幼蟲體長的常用對數 (Y) 與齡期 (X) 的關係以直線迴歸分析結果如圖 6。顯示直線迴歸方程式和相關決定係數 (R^2) 為 $Y = 0.1967 + 0.3946 X$ ($R^2 = 0.9948^{**}$)，相關決定係數平方經 t 測驗分析得知，存在極顯著之正相關 ($p < 0.01$)，表示本蝶種幼蟲的體長常用對數確隨齡期增加而呈直線關係。

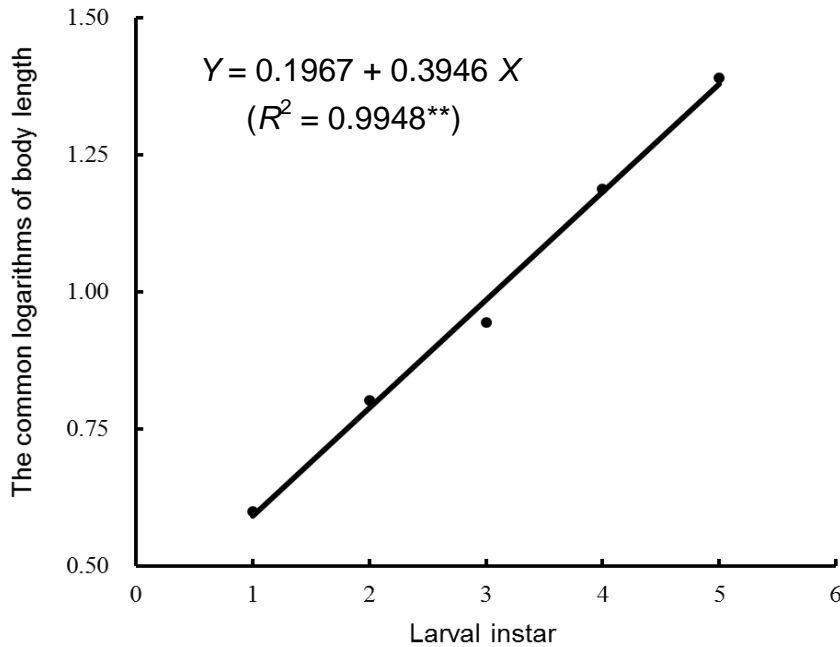


圖6. 柑橘鳳蝶各齡期幼蟲體長常用對數 (Y) 與齡期 (X) 之關係。

Fig 6. The relationship between the common logarithms of body length of each instar larva of *Papilio xuthus xuthus*.

六、蛹重、蛹長、蛹寬、成蝶翅長、翅寬和性比

柑橘鳳蝶的蛹重、蛹長及蛹寬如表 7。由於本試驗所得的蛹數僅 15 個，另併入以相同條件飼育所得蛹之數據計算，得知蛹重平均為 0.57 ± 0.02 g，蛹長為 26.31 ± 0.33 mm，蛹寬為 9.04 ± 0.12 mm。

表 7. 柑橘鳳蝶的蛹重、蛹長及蛹寬

Table 7. The pupal weight, length, and width of *Papilio xuthus xuthus*

Measure item (unit)	Mean \pm SE	n ¹⁾
Pupal weight (g)	0.57 ± 0.02	18
Pupal length (mm)	26.31 ± 0.33	23
Pupal width (mm)	9.04 ± 0.12	23

1) n is the number of observed.

本蝶種的成蝶翅長、翅寬、雌雄蝶數和性比如表 8。成蝶翅長為 40.92 ± 0.73 mm，翅寬為 28.00 ± 0.77 mm，翅展約 70-76 mm。本試驗飼育所得的 15 隻成蝶中，有 11 雄蝶和 4 隻雌蝶，以卡方 (X^2) 之適合性測驗 (Chi-Square Test for Goodness of Fit) 分析結果，成蝶性比 (雌：雄) 符合 1：1。

表 8. 柑橘鳳蝶的翅長、翅寬、雌雄蝶數及成蝶性比

Table 8. The wing length, wing width, number of male and female, and sex ratio of *Papilio xuthus xuthus*

Adult wings (Mean \pm SE, mm)(<i>n</i>) ¹⁾		No. of male	No. of female	Sex ratio ²⁾
Length	Width			
40.92 \pm 0.73 (15)	28.00 \pm 0.77 (15)	11	4	1:1

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

2) The sex ratio was calculated by Chi-square test for goodness of fit.

肆、結論

柑橘鳳蝶可在 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 、 $80 \pm 5\%\text{RH}$ 、光週期 14L：10D 條件下，以酸橘完成整個生活史，但只出現綠色型蛹。但本蝶種存活率相當低，自卵發育至蛹羽化為成蝶僅存活 28.8%，發育所需日數平均為 40.53 ± 0.98 日，其中以蛹期的死亡率最高，其次是卵期，因此未來應提高這兩個蟲期的存活率並縮短發育期，才能改善人工大量飼養效益。本蝶種幼蟲的頭殼寬度和體長的常用對數，均隨齡期增加而呈直線關係，皆符合戴爾法則。

本蝶種的寄主植物以芸香科植物為主，大部分是由人類刻意栽培的經濟果樹或園藝作物，因此被列入果樹害蟲之一，所幸這些植物多種植於戶外，易受氣候和天敵等因素影響，其族群密度尚不足造成重大危害，甚至有些生態休閒農場或觀光蝶園，故意栽培芸香科植物吸引柑橘鳳蝶和其他種類蝴蝶前來訪花吸蜜與產卵繁殖，成為自然觀察和生態教育的天然教材，引導遊客觀察蝴蝶的生活史及欣賞美麗的成蝶飛舞或停棲等行為，開創知性與感性之旅，實踐慢活與悠活等回歸自然理念，並開發相關文創商品，將本種從有害昆蟲轉型為可創造經濟效益，成為可大量人工飼育繁殖的有利昆蟲。

參考文獻

- 王效岳、李俊延。1998。龜山島的蝴蝶與蛾類。p.18。宜蘭縣自然史教育館，宜蘭，臺灣。
- 白九維、王效岳。1998。臺灣的鳳蝶與中國大陸種類的綜述。pp.159-164。淑馨出版社，臺北，臺灣。
- 白九維、王效岳、陳小鈺。1996。中國珍稀與觀賞蝴蝶(I)：鳳蝶科、絹蝶科。pp.115-117。淑馨出版社，臺北，臺灣。
- 李俊延、王效岳。1995。臺灣蝴蝶圖說(三)：金門馬祖蝴蝶和臺灣地區蝴蝶之綜述。pp.65-68。臺灣省立博物館，臺北，臺灣。
- 李俊延、王效岳。1999。蝴蝶花園。pp.43-46。宜蘭縣自然史教育館，宜蘭，臺灣。
- 李俊延、張玉珍。1988。臺灣蝶類圖說。pp.27-28。臺灣省立博物館，臺北，臺灣。
- 李惠永、楊平世。2005。國有林蝶類重要棲地及資源－東部地區。pp.46-48。行政院農業委員會林務局，臺北，臺灣。
- 何健鎔。1997。烏石坑地區蝴蝶資源。p.43。臺灣省特有生物研究保育中心，南投，臺灣。
- 何健鎔、張連浩。1998。南瀛彩蝶。pp.59-60。臺南縣政府暨臺灣省特有生物研究保育中心，臺南，臺灣。
- 沈秀雀。2005。認識誘蝶植物。自然保育季刊，51: 17-24。
- 林春吉。2005。彩蝶生態全記錄。pp.184-203。綠世界出版社，宜蘭，臺灣。
- 易希陶。1985。經濟昆蟲學(下篇各論)。pp.213-214。國立編譯館，臺北，臺灣。
- 徐公天。2003。園林植物病蟲害防治原色圖譜。pp.311-312。中國農業出版社，北京，中國。
- 徐堉峰。2002。臺灣蝶圖鑑第二卷。pp.82-85。國立鳳凰谷鳥園，南投，臺灣。
- 徐堉峰。2013。臺灣蝴蝶圖鑑(上)弄蝶、鳳蝶、粉蝶。pp.248-250。晨星出版有限公司，臺中，臺灣。
- 張永仁。2002。賞蝶篇(上)-陽明山國家公園解說叢書。pp. 56-57。陽明山國家公園管理處員生消費合作社出版，臺北，臺灣。
- 張永仁。2008。蝴蝶 100。pp. 30-31。遠流出版事業股份有限公司，臺北，臺灣。
- 張保信、蔡百峻。1993。臺灣的蝴蝶世界。p.43。渡假出版社，臺北，臺灣。

- 陳昭明。1988。植物保護。pp.379-380。五洲出版社，臺北，臺灣。
- 陳維壽。1974。臺灣區蝶類大圖鑑。pp.68-69。中國文化雜誌社，臺北，臺灣。
- 吳 雲。1998。觀賞蝴蝶。第 4 章。”中國昆蟲資源利用和產業化”。楊冠煌編著。pp.196-223。中國農業出版社，北京，中國。
- 楊宏、王春浩、禹平。1994。北京蝶類原色圖鑑。p.14、pp.60-61。科學技術文獻出版社，北京，中國。
- 趙力、王效岳。1996。中國鱗翅目 1：四川省蝴蝶。pp.52-53。臺灣省立博物館，臺北，臺灣。
- 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。pp.97-101。臺灣省立博物館，臺北，臺灣。
- 趙仁方、方懷聖。2002。臺東縣蝴蝶。p.86。臺東縣政府與行政院農業委員會特有生物研究保育中心，臺東，臺灣。
- 盧東升。1999。信陽地區柑橘鳳蝶生物學特性。昆蟲知識，36: 286-288。
- 蕭剛柔。1992。中國森林昆蟲。pp.1139-1140。中國林業出版社，北京，中國。
- 遲德富、嚴善春。2001。城市綠地植物蟲害及其防治。pp.172-173。中國林業出版社，北京，中國。
- 濱野榮次。1986。臺灣蝴蝶生態大圖鑑。pp.281-282。牛頓出版社，臺北，臺灣。
- 羅幹成、邱瑞珍。1985。臺灣柑橘害蟲及其天敵圖說。臺灣省農業試驗所特刊，32：56-59。
- 關崇智。1987。昆蟲生理學。p.69。國立編譯館主編，南山堂出版社發行，臺北，臺灣。
- Honda, K., and N. Hayashi. 1995. Chemical factors in rutaceous plants regulating host selection by two swallowtail butterflies, *Papilio protenor* and *P. xuthus* (Lepidoptera: Papilionidae). Appl. Entomol. Zool. 30: 327-334.

106年 10月 22日 投稿

106年 12月 25日 接受