

溫度對青帶鳳蝶 (*Graphium sarpedon connectens*) 生長發育之影響

洪榆宸 陳素瓊*

國立宜蘭大學園藝學系

摘要

本試驗將青帶鳳蝶 (*Graphium sarpedon connectens*) (鱗翅目: 鳳蝶科) 的卵粒置於 15、20、25、30 及 35 ± 1°C、80 ± 5% RH、14L: 10D 之生長箱中, 以樟樹 (*Cinnamomum comphora*) 葉片單隻飼育幼蟲至羽化為蝶, 調查不同溫度對各蟲期生長發育之影響。結果顯示在 35°C 下青帶鳳蝶無法存活, 幼蟲羽化為成蟲的存活率以 25 和 30°C 最高為 90%, 而以 15°C 最低為 62%。各蟲期之發育日數都隨著溫度增加而縮短, 於 15°C 下各蟲期比 30°C 者皆需多出 5 倍以上的發育時間, 且其發育速率與試驗溫度間呈正相關。青帶鳳蝶之發育臨界低溫, 卵期為 13.48°C, 一齡至五齡幼蟲分別為 14.02、13.58、13.80、13.23 及 11.13°C, 整個幼蟲期為 12.87°C, 蛹期為 12.38°C, 卵至成蟲為 12.69°C; 各蟲期之有效積溫, 卵期為 38.65 日度, 一齡至五齡幼蟲分別為 40.29、34.27、37.71、56.51 及 129.19 日度, 整個幼蟲期為 296.07 日度, 蛹期為 186.81 日度, 合計卵至成蟲為 527.74 日度。幼蟲的平均頭殼寬度必須超過 3.95 mm 的閾值即進入化蛹階段, 幼蟲齡期與頭殼寬度的常用對數間呈正相關, 符合戴爾法則。在不同溫度下, 青帶鳳蝶之性比 (♀: ♂) 經由卡方適合度檢定皆符合 1: 1, 可知性別比例不受溫度影響。由本研究結果可知, 青帶鳳蝶最適合飼養於 25 至 30°C, 而在宜蘭地區一年大約有 6 至 7 世代。

關鍵詞: 青帶鳳蝶、溫度、發育、發育臨界低溫、有效積溫、頭殼寬度

*通訊作者。E-mail: scchen@niu.edu.tw

Effect of temperatures on growth and development of *Graphium sarpedon connectens* Fruhstorfer

Yu-Chen Hung Su-Chiung Chen*

Department of Horticulture, National Ilan University

Abstract

The study was performed on fresh eggs of *Graphium sarpedon connectens* placed in a growth chamber under conditions of 15, 20, 25, 30, and 35°C, with 80 ± 5% RH and photoperiod of 14-h of light and 10-h of darkness. Hatched larvae were individually reared with leaves of *Cinnamomum comphora* for a series of observation till the development of butterflies under different temperatures. The results showed that at 35°C, *G. sarpedon connectens* did not survive, the highest survival rate of 90% occurred at 25°C and 30°C, while the lowest at 15°C was 62%. Duration in days of life stages decreased as the temperature was raised from 15 to 30°C. At 15°C, duration in days of life stages were five times more than the 30°C, and the development rates of various life stages and rearing temperature were correlated by a linear regression. The lower developmental threshold temperatures for the development of egg, 1st to 5th instar larva, larval stage, pupa, and the egg to adult stages were estimated to be 13.48, 14.02, 13.58, 13.80, 13.23, 11.13, 12.87, 12.38 and 12.69°C, respectively. The accumulative effective temperature of egg, 1st to 5th instar larva, larval stage, and pupa were 38.65, 40.29, 34.27, 37.71, 56.51, 129.19, 296.07 and 186.81 degree-days, respectively. It required 527.24 degree-days for the development of *G. sarpedon connectens* from egg to adult. The threshold value of the average head capsule width for development into the pupa was 3.95 mm. The common logarithms of head capsule width of the larval stage and instars of larva were linearly correlated which followed Dyar's law. At different temperatures, the sex ratio (♀: ♂) of *G. sarpedon connectens* by chi-square goodness of fit test were in compliance with 1: 1, and the sex ratio was not affected by temperature. From the results, *G. sarpedon connectens* was most suitable bred at 25 to 30°C, and was of 6-7 generations per year in Yilan area.

Keywords: *Graphium sarpedon connectens*, temperature, development, lower development threshold temperature, accumulative effective temperature, head capsule width

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

壹、前言

青帶鳳蝶 (*Graphium sarpedon*)，屬於鱗翅目 (*Lepidoptera*)、錘角亞目 (*Rhopalocera*)、鳳蝶總科 (*Papilionoidea*)、鳳蝶科 (*Papilionidae*)、青鳳蝶屬 (*Graphium*)，英名為 Common bluebottle 或 Blue triangle，別名為青條鳳蝶、黑玳瑁、青鳳蝶、竹鳳蝶、藍帶青鳳蝶 (白和王, 1998; 徐, 1999; 李和王, 2002)。此種蝴蝶分布相當的廣泛，從印度半島至中國大陸的華南、華中，臺灣、韓國及日本的南端，整個東南亞皆有發現紀錄 (李和張, 1988; 周, 1990; 李和王, 1995; 白和王, 1998; 陳和黃, 1998; 徐, 1999; 李和王, 2002; 張, 2002; 李和楊, 2005; 王和劉, 2009)。陳 (1988) 曾提出因青帶鳳蝶經過長時間的地理隔離，各自發展出不相同的色彩斑紋，演化為多亞種物種。

臺灣的青帶鳳蝶 (*Graphium sarpedon connectens*) 為臺灣的特有亞種 (周, 1990; 徐, 1999)。本蝶在全省平地到 1500 公尺山區均有分布，在北部成蟲主要發生期為 3 ~ 10 月，南部冬季仍有不少個體出現 (白和王, 1998)。成蝶最大特徵為翅膀中央有水藍色的斑紋形成貫穿前後翅的一條水藍色帶，喜愛訪花吸蜜，雌蝶特別偏好訪花，而雄蝶也常群聚於溪邊的濕地上吸水，平常飛行速度十分迅速，不易觀察 (湯和趙, 2000; 張, 2001)。青帶鳳蝶的寄主植物為樟科 (*Lauraceae*) 植物，主要以樟樹 (*Cinnamomum camphora*) 和大葉楠 (*Machilus japonica*) 為主，因樟樹作為臺灣都市常用的行道樹，青帶鳳蝶對都市環境又適應良好，因此成為都市內常見的鳳蝶之一 (徐, 1999; 李和王, 2002; 李和楊, 2005)。

蝴蝶的生活史特徵會因環境溫度而有所差異，但當棲息於相似的溫度環境中，就算是不同蝶種，其生存策略和對溫度的適存度則會較相似 (Karlsson and Wiklund, 2005)。許多文獻研究結果指出，每種蝶類生長發育都有最適合的溫度範圍，而且各蟲期也有屬於各階段適合的溫度；在適溫區中，低溫生長的個體體型大部分較高溫者大，符合溫度體型法則 (temperature-size rule)；在相對極端的溫度下，其存活率都會明顯下降；蝶類的發育日數在適溫區內會隨著溫度的上升而逐漸縮短，而發育速率則會逐漸增加 (吳和楊, 1995; 陳和歐陽, 2002; 鄭和許, 2003; 陳等, 2003; 鄭和張, 2005; 楊等, 2007; 馬, 2008; 游, 2008; 黃, 2008; Steigenga and Fischer, 2009; Koda and Nakamura, 2010; 紀, 2011; 陳, 2011; 歐陽等, 2015)。

有關青帶鳳蝶在研究報告並不多，多為民間蝶類圖鑑或成蝶描述之觀察，此蝶之基礎生物學資料並不完整，另因溫室效應之影響，全球的氣候異常，造成許多生物因此瀕

臨絕種或大量消失。因此，本試驗探討溫度對青帶鳳蝶各蟲期生長發育之影響，觀察此蝶於各種溫度下生長發育之差異，估計發育臨界低溫及卵發育至羽化成蟲之有效積溫，以供今後學術研究、教學或休閒之參考。

貳、材料與方法

一、試驗材料

(一) 供試植物

本試驗的供試植物為高約 80 cm 的樟樹 (*Cinnamomum camphora*)。其栽培條件分別為：盆器的盆口直徑為 29.5 cm、高度為 26 cm 及盆底直徑為 23.5 cm；介質為泥炭土 (Huminsubstrat N₂)：沙土=1：1；定期以尿素：水=1 g：500 ml 施肥和適當修剪。待植株長出新葉後，再供試驗之用。

二、供試蟲源與飼養方法

本試驗青帶鳳蝶的供試蟲源和其飼養方法採用洪和陳 (2016) 相同的方式進行。在室外簡易網室 (長 3 m、寬 2 m、高 1.6 m) 內採集含卵葉片卵粒，帶回實驗室。將其枝條底部以濕棉花包覆保持枝條新鮮，然後以鋁箔紙包覆濕棉花使水分不易喪失，再放入中型圓形半透明塑膠盒 (盒口直徑 11 cm、底部直徑 9 cm、高 7.5 cm，約 500 ml)，同時標記產卵日期和數量。待卵孵化後利用小楷毛筆將初齡幼蟲移至大型圓形半透明塑膠盒 (盒口直徑 14.1 cm、底部直徑 11 cm、高 6.5 cm，約 700 ml)，給予樟樹葉片供取食，當幼蟲發育至四齡後，再移入透明壓克力箱 (長、寬、高各 30 cm) 內飼養，終齡幼蟲於飼養箱內化蛹，待至羽化為成蟲後再釋放於室外簡易網室交配產卵，其後代以供試驗之用。

三、溫度對青帶鳳蝶各蟲期生長發育之影響

試驗分成五個處理溫度，分別設定 15、20、25、30 及 35 ± 1°C，80 ± 5% RH，光週期 14L：10D (5：00 開燈，19：00 關燈) 的生長箱。每溫度處理有 5 重覆，每一重覆 10 粒卵，共計 250 粒卵。當卵孵化後將初齡幼蟲放入小型圓形透明塑膠盒 (盒口直徑 9.2 cm、底部直徑 8 cm、高 5.8 cm，約 250 ml)，盒蓋中間切除 1×1 cm² 的面積並貼上透明紗網中進行單隻飼育，待幼蟲發育至三齡時，再移入較大的大型圓形半透明塑膠盒中飼養。每日清理飼養盒並提供充足的樟樹鮮葉供其取食。一齡和二齡幼蟲以樟樹嫩葉為主，三齡幼蟲後以成熟葉片為主。當終齡幼蟲化蛹後，放入長條形的衛生紙貼於飼養容器的壁面，讓剛羽化成蟲攀附，有助於成蟲展翅。試驗過程中記錄青帶鳳蝶卵的

孵化日、各齡期的脫皮日、化蛹日、羽化日及性別，並測量其各齡期幼蟲的頭殼寬、幼蟲體長、成蟲翅長和翅寬；蛹重、成蟲體重，其測量方法與歐陽等 (2015) 方法相同。並根據試驗所得青帶鳳蝶的卵期、幼蟲期及蛹期之各項發育日數，依鄒 (1980) 所提之有效積溫公式來計算青帶鳳蝶各蟲期發育臨界低溫及有效積溫。

四、資料統計分析

本試驗之生物學基本資料包含各蟲期發育日數、幼蟲各齡期體長、頭殼寬、蛹重、成蝶體重、翅長及翅寬等數據皆以 SAS System version 9.3 for windows 統計軟體 (PROC MEANS, SAS Institute 2011) 計算出平均值 (Mean) 和平均值標準差 (Standard Error of Mean, 簡稱為 SEM)。並以最小顯著差異 (Least significant difference-LSD) 進行平均值之間的顯著性差異比較。青帶鳳蝶各蟲期之發育速率與溫度之間的相關性和幼蟲各齡期頭殼寬與溫度之間的相關性是採用線性迴歸分析 (PROC REG)。檢定青帶鳳蝶雌雄性比是否受到不同溫度的影響，以卡方 (X^2) 之適合性測驗 (Chi-Square of goodness of fit) 進行測定。

參、結果

一、青帶鳳蝶之存活率

在不同恆定溫度下，以樟樹葉片單隻飼育青帶鳳蝶幼蟲，其存活率結果顯示於表 1。在 35°C 下，青帶鳳蝶的卵 ($n = 165$) 皆無法孵化，故各蟲期的存活率為 0%，故以下皆用四種溫度組的結果分析比較。第一齡幼蟲在 15、20、25 及 30°C 的存活率，以 25°C 的 $100.0 \pm 0.0\%$ 和 30°C 的 $98.0 \pm 2.0\%$ 存活率顯著高於 15°C 的 $80.0 \pm 3.2\%$ 和 20°C 的 $88.0 \pm 4.9\%$ 之存活率 ($p < 0.05$)。在第二齡幼蟲至第四齡幼蟲時，四種溫度下雖然不同的溫度中都有幼蟲相繼死亡的現象，但其存活率高達 92.6% 以上，且統計分析上皆無顯著性差異。第五齡幼蟲在 20°C 和 30°C 存活率都高達 100%，而 15°C 和 25°C 出現因病死亡的幼蟲，其存活率分別為 $89.2 \pm 4.9\%$ 和 $94.0 \pm 4.0\%$ ，在統計上 20°C 和 30°C 的存活率與 15°C 有顯著性差異。在五齡幼蟲化蛹的過程中，15°C 有 1 隻蟲體因化蛹不完全而死亡，30°C 也有 1 隻個體化蛹後黑化死亡，而 20°C 和 25°C 之幼蟲皆化蛹成功，在四組處理溫度的化蛹率皆都高達 97.2% 以上，且統計分析上無顯著性差異。羽化的過程中，在 30°C 有 1 隻羽化失敗而死亡，其他溫度則都羽化成功，從幼蟲至羽化成蟲的存活率以 20、25 及 30°C 為 84.0~90.0% 較高，最低為 15°C 的 62.0%，相差約 22~28%，且 20、25 及

30°C 三者皆與 15°C 之間具有顯著性差異。

表 1、青帶鳳蝶在不同溫度下各蟲期的存活率

Table 1. The survival rate of each stage *Graphium sarpedon connectens* at various constant temperatures

Temperature (°C)	Survival rate ($\bar{X} \pm \text{SEM}, \%$) ¹⁾ (n) ²⁾						
	1 st	2 nd	Larva			Pupa	Larva-Adult
			3 rd	4 th	5 th		
15	80.0 ±	92.6 ±	97.6 ±	100.0 ±	89.2 ±	97.2 ±	62.0 ±
	3.2 b	3.1 a	2.4 a	0.0 a	4.9 b	2.8 a	3.7 b
	(40)	(37)	(36)	(36)	(32)	(31)	(31)
20	88.0 ±	95.6 ±	100.0 ±	100.0 ±	100.0 ±	100.0 ±	84.0 ±
	4.9 b	4.4 a	0.0 a	0.0 a	0.0 a	0.0 a	6.0 a
	(44)	(42)	(42)	(42)	(42)	(42)	(42)
25	100.0 ±	100.0 ±	100.0 ±	96.0 ±	94.0 ±	100.0 ±	90.0 ±
	0.0 a	0.0 a	0.0 a	4.0 a	4.0 ab	0.0 a	4.5 a
	(50)	(50)	(50)	(48)	(45)	(45)	(45)
30	98.0 ±	100.0 ±	100.0 ±	96.0 ±	100.0 ±	98.0 ±	90.0 ±
	2.0 a	0.0 a	0.0 a	4.0 a	0.0 a	2.0 a	3.2 a
	(49)	(49)	(49)	(47)	(47)	(46)	(45)
35	0						

1) Means within each column followed by the the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ by Fisher's protected LSD test.

2) n in parentheses is the number observed.

二、青帶鳳蝶之發育期

青帶鳳蝶各蟲期在不同恆溫下的平均發育日數，其結果列於表 2，各蟲期在不同溫度處理間皆有顯著性差異 ($p < 0.05$)。卵期在 15、20、25 及 30°C 的平均發育日數分別為 16.56 ± 0.35 日、 6.44 ± 0.23 日、 3.66 ± 0.09 日及 2.52 ± 0.07 日，30°C 的卵期比 15°C 縮短了將近 14 日，其發育日數隨著溫度的上升而縮短；幼蟲期的發育日數，亦隨著溫度的上升而縮短，30°C 最短只需 16.45 ± 0.25 日，而 15°C 需 88.16 ± 0.80 日，30°C 幼蟲期發育日數比 15°C 快 71 日；蛹期的平均發育日數亦隨著溫度升高而縮短，在 15°C 至 30°C 的平均發育日數分別為 56.32 ± 1.20 日、 26.33 ± 0.29 日、 15.71 ± 0.10 日及 10.28 ± 0.07 日，15°C 的蛹期平均發育日數比 30°C 慢 46 日之多；由卵發育至羽化為成蟲之所需平均日數以 15°C 最長為 161.03 ± 1.48 日，而最短亦是 30°C 為 29.24 ± 0.30 日，30°C 由卵至羽化為成蟲的時間比 15°C 縮短了 131 日，其發育日數亦隨著溫度的上升而縮短。由結果顯示，在四種溫度處理下，青帶鳳蝶的各蟲期之發育日數皆隨著溫度的升高而縮短，各處理間皆有顯著性差異 ($p < 0.05$)。且 15°C 的卵期、幼蟲期、蛹期及卵至羽化為成蟲的時間，皆比 30°C 多出 5 倍以上的時間，但各蟲期在 15°C 至 30°C 的試驗溫度下均能完成生活環。

表 2、不同溫度下青帶鳳蝶各蟲期之發育日數

Table. 2. Duration in days of various growth of *Graphium sarpedon connectens* Fruhstorfer at various constant temperatures

Temperature (°C)	Developmental period ($\bar{X} \pm \text{SEM}$) ¹⁾ (n) ²⁾			
	Egg	Larva	Pupa	Egg-Adult
15	16.56 ± 0.35 a (50)	88.16 ± 0.80 a (32)	56.32 ± 1.20 a (31)	161.03 ± 1.48 a (31)
20	6.44 ± 0.23 b (50)	45.50 ± 0.60 b (42)	26.33 ± 0.29 b (42)	78.40 ± 0.70 b (42)
25	3.66 ± 0.09 c (50)	27.82 ± 0.44 c (45)	15.71 ± 0.10 c (45)	47.18 ± 0.47 c (45)
30	2.52 ± 0.07 d (50)	16.45 ± 0.25 d (47)	10.28 ± 0.07 d (46)	29.24 ± 0.30 d (46)

1) Means within each column followed by the the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ by Fisher's protected LSD test.

2) n in parentheses is the number observed.

青帶鳳蝶幼蟲各齡期之平均發育日數，其結果顯示於表 3。一至五齡幼蟲在 15、20、25、30 及 35°C 的平均發育日數皆隨溫度升高而縮短，且四組之間均有顯著差異 ($p < 0.05$)。在各齡期幼蟲於 30°C 平均發育期皆比 15°C 快 10 天以上。

根據以上在不同溫度各蟲期之平均發育日數資料，依鄒 (1980) 所提出公式，計算青帶鳳蝶各蟲期之發育臨界低溫及有效積溫，結果顯示於表 4。卵之發育臨界低溫為 13.48°C，有效積溫為 38.65 日度。一齡至五齡幼蟲之發育臨界低溫分別為 14.02、13.58、13.80、13.23 及 11.13°C，有效積溫分別為 40.29、34.27、37.71、56.51 及 129.19 日度。整個幼蟲期之發育臨界低溫為 12.87°C，有效積溫為 296.07 日度。蛹期之發育臨界低溫為 12.38°C，有效積溫為 186.81 日度。卵發育至羽化成蟲為 12.69°C，總有效積溫為 527.74 日度。

表 3、在不同溫度下青帶鳳蝶各齡期幼蟲之發育日數

Table 3. Duration in days of each instar larvae of *Graphium sarpedon connectens* at various constant temperatures

Temperature (°C)	Developmental period ($\bar{X} \pm \text{SEM}$) ¹⁾ (n) ²⁾				
	1st	2nd	3rd	4th	5th
15	17.35 ± 0.50 a (40)	13.35 ± 0.35 a (37)	14.72 ± 0.42 a (36)	16.44 ± 0.35 a (36)	25.97 ± 0.30 a (32)
20	9.00 ± 0.18 b (44)	6.17 ± 0.18 b (42)	6.70 ± 0.16 b (42)	8.69 ± 0.14 b (42)	14.98 ± 0.20 b (42)
25	3.72 ± 0.16 c (50)	3.28 ± 0.02 c (50)	3.98 ± 0.11 c (50)	6.08 ± 0.15 c (48)	10.67 ± 0.21 c (45)
30	2.47 ± 0.08 d (49)	2.00 ± 0.07 d (49)	2.20 ± 0.08 d (49)	3.17 ± 0.08 d (47)	6.53 ± 0.14 d (47)

1) Means within each column followed by the the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ by Fisher's protected LSD test.

2) n in parentheses is the number observed.

表 4、青帶鳳蝶各蟲期在 15 到 30°C 間發育臨界低溫與有效積溫

Table 4. Relationship between developmental rate and temperature, lower developmental threshold of *Graphium sarpedon connectens* under a temperature range of from 15 to 30°C

Life stage	Lower developmental temperature threshold (°C)	Accumulative effective temperature (degree-days)
Egg	13.48	38.65
1st instar	14.02	40.29
2nd instar	13.58	34.27
3rd instar	13.80	37.71
4th instar	13.23	56.51
5th instar	11.13	129.19
Larva	12.87	296.07
Pupae	12.38	186.81
Egg to Adult	12.69	527.74

另外根據在不同溫度各蟲期之平均發育日數的資料，青帶鳳蝶各生長期發育速率 (Y) 與溫度 (X) 之關係，經直線迴歸分析結果顯示於圖 1，卵的發育速率在 15°C 至 30°C 隨著溫度升高而越快，30°C 的發育速率為 0.3968 最快，最慢為 15°C 的 0.0604。幼蟲期的發育速率亦以 30°C 之 0.0608 最快，最慢為 15°C 的 0.0113。蛹期的發育速率亦以

30°C 之 0.0972 最快, 最慢為 15°C 的 0.0178。卵發育至成蟲的發育速率亦以 30°C 之 0.0342 最快, 最慢為 15°C 的 0.0006。其中決定係數 (R^2) 在卵期為 0.997、幼蟲期為 0.961、蛹期為 0.987 及卵發育至羽化為成蟲為 0.975 皆與溫度呈正相關; 而各蟲期的直線方程式分別為卵期為 $Y = -0.286 + 0.023X$ 、幼蟲期為 $Y = -0.041 + 0.003X$ 、蛹期為 $Y = -0.065 + 0.004X$ 及卵發育至成蟲為 $Y = -0.023 + 0.002X$ 。由圖 2 結果顯示各齡幼蟲期發育速率與溫度的關係, 幼蟲期一齡至五齡的決定係數 (R^2) 分別為 0.967、0.972、0.952、0.905 及 0.958 皆與溫度呈正相關; 各齡期幼蟲之直線方程式分別是, 一齡幼蟲為 $Y = -0.329 + 0.024 X$ 、二齡幼蟲為 $Y = -0.378 + 0.028X$ 、三齡幼蟲為 $Y = -0.337 + 0.025X$ 、四齡幼蟲為 $Y = -0.189 + 0.016X$ 及五齡幼蟲為 $Y = -0.079 + 0.007X$ 。由以上結果可知, 青帶鳳蝶各發育期之發育速率在 15 至 30°C 的範圍皆隨著溫度升高而增加, 且迴歸直線的發育速率與溫度之間皆有明顯的相關性。

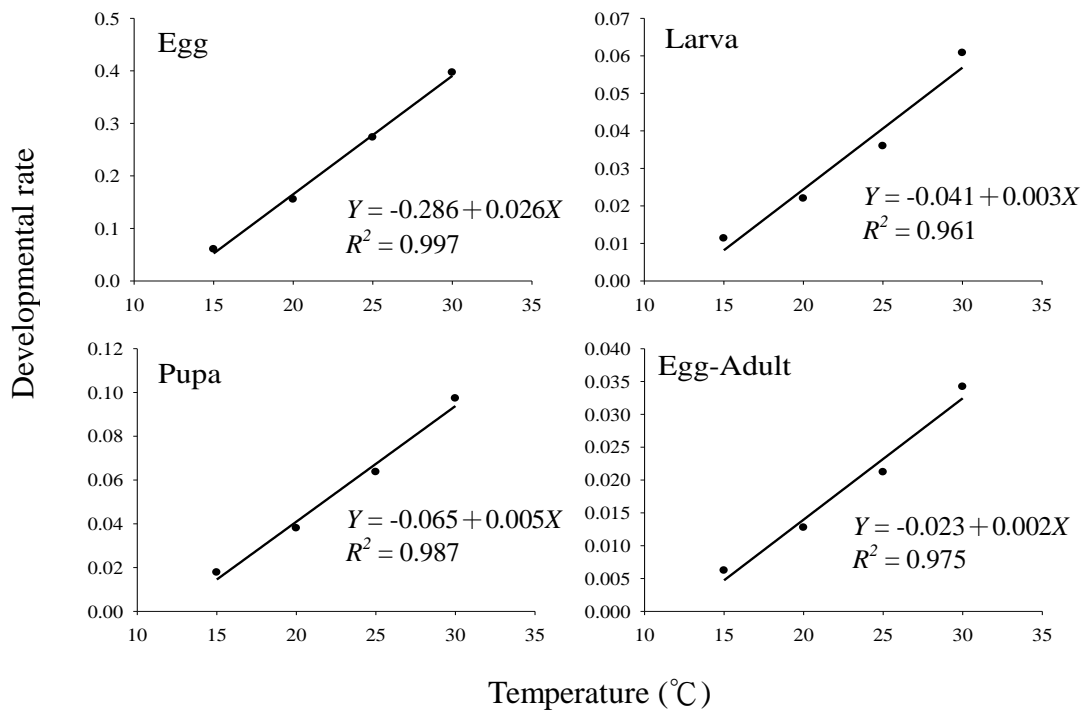


圖 1、不同溫度下青帶鳳蝶各蟲期之發育速率 (Y) 與溫度 (X) 關係。

Fig. 1. The relationship between developmental rates (Y) and temperatures (X) of various growth stages of *Graphium sarpedon connectens* at various constant temperatures.

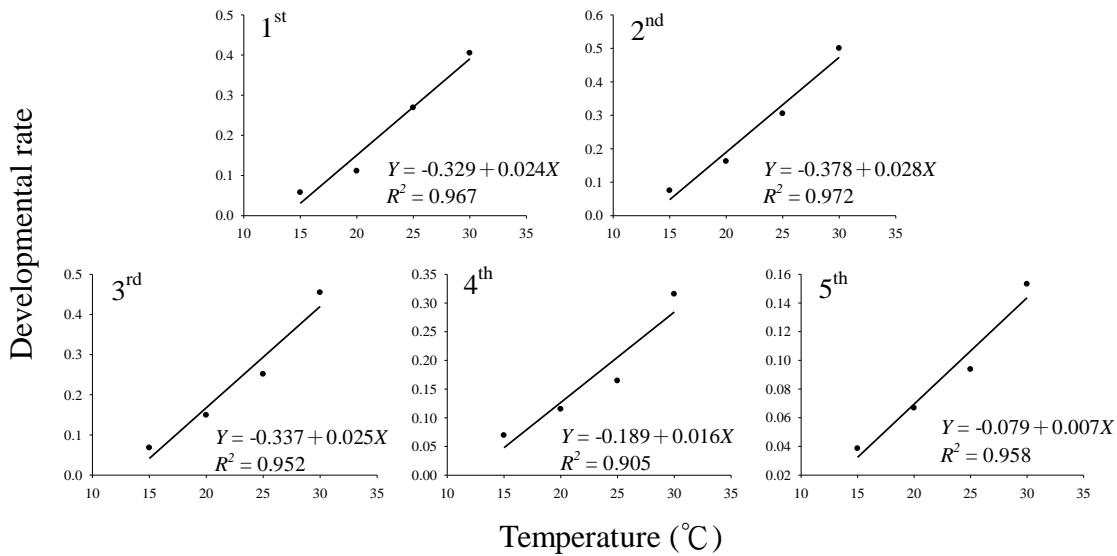


圖 2、不同溫度下青帶鳳蝶幼蟲各齡期之發育速率 (Y) 與溫度 (X) 關係。

Fig. 2. The relationship between developmental rates (Y) and temperatures (X) of each instar of *Graphium sarpedon connectens* at various constant temperatures.

一、幼蟲期頭殼寬度和體長

在四種溫度下，青帶鳳蝶幼蟲各齡期之平均頭殼寬度列於表 5。一齡幼蟲頭殼寬以 20 和 25°C 之 0.78 ± 0.003 mm 顯著高於 15 和 30°C 之 0.76 ± 0.003 mm。二齡幼蟲以 20°C 頭殼寬 1.26 ± 0.003 mm 最大，15 和 30°C 有顯著性差異。三齡幼蟲在 20 和 25°C 頭殼寬為 1.93 ± 0.003 mm，顯著高於 15°C 之 1.81 ± 0.014 mm 和 30°C 之 1.78 ± 0.007 mm，且 15 和 30°C 亦有顯著性差異 ($p < 0.05$)。四齡幼蟲以 20°C 頭殼寬 2.96 ± 0.012 mm 最大，15°C 最小為 2.64 ± 0.023 mm，四種處理間皆具有顯著性差異 ($p < 0.05$)。五齡幼蟲頭殼寬在 20 和 25°C 分別為 4.39 ± 0.018 mm 和 4.33 ± 0.012 mm，兩者無顯著性差異，但與 15 和 30°C 有顯著性差異 ($p < 0.05$)。由此可知青帶鳳蝶幼蟲頭殼有一定的閥值寬度，頭殼寬度會隨著齡期的增加而變大，且必須達 3.95 mm 以上才能化蛹。另將青帶鳳蝶頭殼寬度常用對數 (Y) 與齡期 (X) 之關係以直線迴歸分析，結果顯示於圖 3，得知於 15°C、20°C、25°C 及 30°C 下決定係數 (R^2) 均高達 0.999 以上且皆呈明顯正相關，及在 15°C 至 30°C 範圍內，青帶鳳蝶各齡期幼蟲頭殼寬的常用對數是隨齡期增加而增加呈現直線關係，其直線迴歸方程式 15°C 為 $Y = -0.285 + 0.177X$ 、20°C 為 $Y = -0.283 + 0.187X$ 、25°C 為 $Y = -0.287 + 0.187X$ 及 30°C 為 $Y = -0.301 + 0.184X$ 。

表 5、在不同溫度下青帶鳳蝶各齡期幼蟲之頭殼寬

Table 5. The width of head capsule of each instar larvae of *Graphium sarpedon connectens* at various constant temperatures

Temperature (°C)	Head capsule width of larval stage ($\bar{X} \pm \text{SEM}, \text{mm}$) ¹⁾ (n) ²⁾				
	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th
15	0.76 ± 0.003 b (40)	1.20 ± 0.006 c (37)	1.81 ± 0.014 b (36)	2.64 ± 0.023 d (36)	3.95 ± 0.038 c (32)
20	0.78 ± 0.003 a (44)	1.26 ± 0.003 a (42)	1.93 ± 0.007 a (42)	2.96 ± 0.012 a (42)	4.39 ± 0.018 a (42)
25	0.78 ± 0.003 a (50)	1.22 ± 0.003 b (50)	1.93 ± 0.006 a (50)	2.90 ± 0.010 b (48)	4.33 ± 0.012 a (45)
30	0.76 ± 0.003 b (49)	1.18 ± 0.003 c (49)	1.78 ± 0.007 c (49)	2.73 ± 0.012 c (47)	4.16 ± 0.010 b (46)

1) Means within each column followed by the the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ by Fisher's protected LSD test.

2) n in parentheses is the number observed.

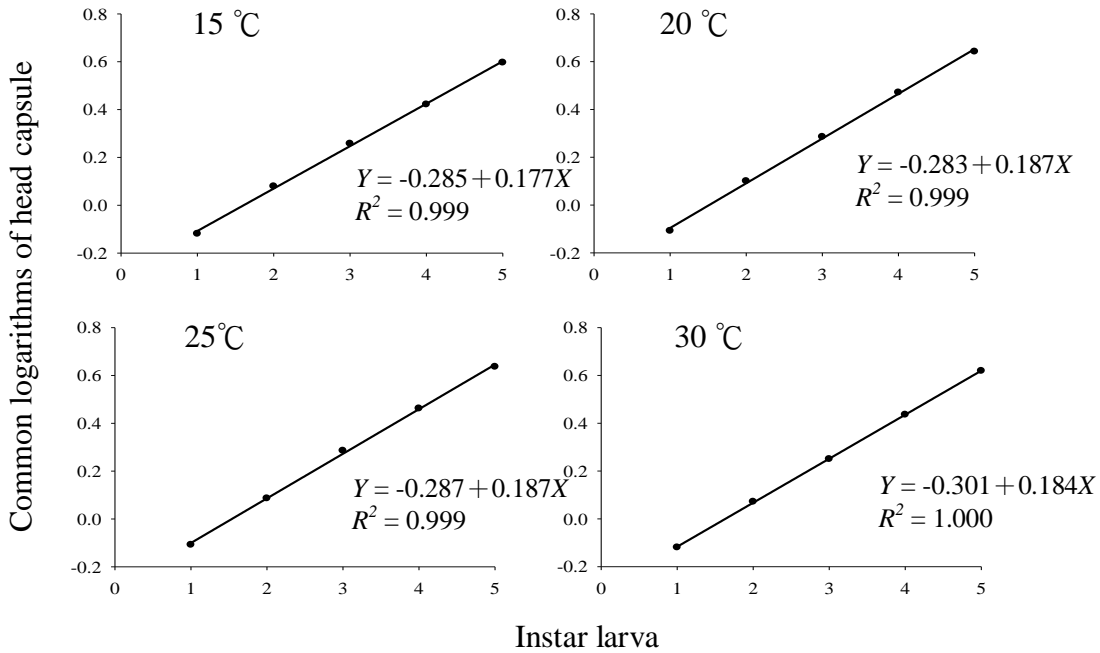


圖 3、不同溫度下青帶鳳蝶幼蟲之頭殼寬常用對數 (Y) 與齡期 (X) 之關係。

Fig. 3. Relationship between the common logarithms of head capsule width of larval stage (Y) and each instar (X) of *Graphium sarpedon connectens* at various constant temperatures.

另一方面，不同恆定溫度下青帶鳳蝶各齡期幼蟲的體長變化結果列於表 6。一齡幼蟲在 25°C 體長最長為 $2.94 \pm 0.03 \text{ mm}$ ，且與 15°C 之 $2.60 \pm 0.02 \text{ mm}$ 、20°C 之 $2.66 \pm 0.02 \text{ mm}$ 和 30°C 之 $2.67 \pm 0.02 \text{ mm}$ 有顯著性差異 ($p < 0.05$)。二齡幼蟲以 30°C 體長 $5.53 \pm 0.11 \text{ mm}$ 最長，其次為 25°C 之 $5.19 \pm 0.09 \text{ mm}$ ，兩者與 15°C 和 20°C 體長都有顯著性差異 ($p < 0.05$)。三齡幼蟲各溫度的體長皆有顯著性差異 ($p < 0.05$)。四齡和五齡幼蟲的體長都以

30°C 為最長，而 15°C 為最短，且具顯著性差異 ($p < 0.05$)。由以上結果可知，青帶鳳蝶幼蟲的體長皆隨著齡期的增加而增長，而二齡至五齡幼蟲的體長皆隨著溫度增高而增長。

表 6、在不同溫度下青帶鳳蝶各齡期幼蟲之體長

Table 6. The body length of each instar larvae of *Graphium sarpedon connectens* at various constant temperatures

Temperature (°C)	Body length of larval stage ($\bar{X} \pm \text{SEM}$, mm) ¹⁾ (n) ²⁾				
	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th
15	2.60 ± 0.02 c (50)	4.75 ± 0.06 c (40)	7.53 ± 0.09 d (37)	11.62 ± 0.19 c (36)	19.21 ± 0.24 c (36)
20	2.66 ± 0.02 bc (50)	4.70 ± 0.04 c (44)	8.09 ± 0.12 c (42)	13.37 ± 0.16 b (42)	21.60 ± 0.21 b (42)
25	2.94 ± 0.03 a (50)	5.19 ± 0.09 b (50)	8.66 ± 0.11 b (50)	13.39 ± 0.18 b (50)	22.22 ± 0.26 b (48)
30	2.67 ± 0.02 b (50)	5.53 ± 0.11 a (49)	9.38 ± 0.17 a (49)	14.27 ± 0.24 a (49)	23.36 ± 0.28 a (47)

1) Means within each column followed by the the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ by Fisher's protected LSD test.

2) n in parentheses is the number observed.

四、蛹重、成蟲體重、翅長、翅寬及性比

青帶鳳蝶之蛹重、成蝶體重、翅長及翅寬於不同適溫下的試驗結果如表 7。蛹重以 25°C 之 1.04 ± 0.02 g 和 20°C 之 1.01 ± 0.02 g 較重，與 15°C 和 30°C 之 0.83 ± 0.02 g 間有顯著性差異 ($p < 0.05$)。成蝶體重以 20 和 25°C 最重，且平均皆為 0.36 ± 0.01 g，與 30°C 之 0.29 ± 0.01 g 和 15°C 之 0.28 ± 0.01 間具顯著性差異 ($p < 0.05$)。成蝶翅長以 25 和 30°C 較長分別為 40.95 ± 0.23 、 40.68 ± 0.24 mm，兩者與 20°C 之 37.74 ± 0.60 mm 和 15°C 之 35.28 ± 0.37 mm 間有顯著性差異 ($p < 0.05$)。成蝶翅寬以 25°C 之 34.17 ± 0.19 mm 最寬，最窄 15°C 之 29.61 ± 0.29 mm，各溫度間具顯著性差異 ($p < 0.05$)。由上述結果顯示，蛹重、成蝶體重、翅長及翅寬，皆以溫度 25°C 表現最佳。

於不同恆溫下卵發育至羽化至成蟲，再計算其雌、雄蝶數如表 8。在 15°C 有 15 隻雌蝶、16 隻雄蝶；20°C 有 23 隻雌蝶、19 隻雄蝶；25°C 有 25 隻雌蝶、20 隻雄蝶；30°C 有 19 隻雌蝶、26 隻雄蝶。由此結果顯示，15°C 和 30°C 以雄蝶數較多，而 20°C 和 25°C 以雌蝶數較多，經由卡方之適合性測驗 (Chi-Square of goodness of fit) 得知 15°C 至 30°C 的 X^2 分別為 0.03、0.38、0.56 及 1.09，皆 $< X^2 = 3.841$ 。因此雌雄性比無顯著差異，即各處理溫度的性比 (♀ : ♂) 皆符合 1 : 1，由此可知，青帶鳳蝶雌雄性比不會因溫度的影響而有所改變。

表 7、在不同溫度下青帶鳳蝶之蛹重、成蝶體重、翅長及翅寬

Table 7. The pupa weight, adult weight, wing length and wing width of *Graphium sarpedon connectens* at various constant temperatures

Temperature (°C)	Pupa Weight (g) $\bar{X} \pm \text{SEM}^1 (n)^2$	Wing Length (mm) $\bar{X} \pm \text{SEM} (n)$	Wing Width (mm) $\bar{X} \pm \text{SEM} (n)$	Adult Weight (g) $\bar{X} \pm \text{SEM} (n)$
15	0.83 ± 0.02 b (31)	35.28 ± 0.37 c (31)	29.61 ± 0.29 d (31)	0.28 ± 0.01 b (31)
20	1.01 ± 0.02 a (42)	37.74 ± 0.60 b (42)	33.26 ± 0.16 b (42)	0.36 ± 0.01 a (42)
25	1.04 ± 0.02 a (45)	40.95 ± 0.23 a (45)	34.17 ± 0.19 a (45)	0.36 ± 0.01 a (45)
30	0.83 ± 0.02 b (46)	40.68 ± 0.24 a (45)	32.87 ± 0.23 c (45)	0.29 ± 0.01 b (45)

1) Means within each column followed by the the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ by Fisher's protected LSD test.

2) n in parentheses is the number observed.

表 8、青帶鳳蝶在不同溫度下之成蟲性比

Table 8. Sex ratio of *Graphium sarpedon connectens* at various constant temperatures

Temperature (°C)	Sex		X^2	Sex ratio ¹⁾
	Female	Male		
15	15	16	0.03	1 : 1
20	23	19	0.38	1 : 1
25	25	20	0.56	1 : 1
30	19	26	1.09	1 : 1

1) The sex ratio was calculated by Chi - Square of goodness of fit.

肆、討論

本試驗在 15、20、25、30 及 35°C 之五個定溫來測試青帶鳳蝶的飼養溫度，且了解在不同溫度下生長發育之影響。

一、青帶鳳蝶之存活率

本試驗在不同恆溫的飼養結果，青帶鳳蝶各蟲期之存活率列於表 1。在 35°C，80 ± 5% RH，光週期 14L : 10D 的條件下，卵皆無法順利孵化，與柑橘鳳蝶 (*Papilio xuthus koxinga*) (游，2008)、黑鳳蝶 (*P. protenor amauro*) (馬，2008) 及大鳳蝶 (*P. memnon heronus*) (歐陽等，2015) 飼養於 35°C 下皆無法孵化之情況相同，故持續性於此高溫下卵是無法存活的。在 15、20、25 及 30°C 試驗溫度下，青帶鳳蝶由幼蟲至羽化成蟲的存活率分別為 62、84、90 及 90%，其中 15°C 和 20°C 的存活率較低，主要因為一齡幼蟲不太攝食寄主植物或是剛孵化隔日死亡等情況，推測低溫的環境對於青帶鳳蝶的初齡幼蟲可能不利生存，而 25°C 和 30°C 皆正常活動，因此相對存活率較高。本試驗存活率與

鄭和張 (2005) 以 15、20、25 及 30°C 下飼育無尾鳳蝶，由幼蟲至羽化成蟲的存活率分別為 41.2、95、100 及 97%，並與童 (1991) 的樺斑蝶 (*Danaus chrysippus*) 飼育在 16、20、24 及 28°C 下存活率分別為 18.0、41.0、81.7 及 75.0% 相較，無尾鳳蝶和樺斑蝶於低溫下也不利於生存與本試驗結果相符。紀 (2011) 在 20、23、25、28 及 30°C 之恆溫飼育大琉璃鳳蝶 (*P. paris nakaharai*)，其幼蟲至羽化成蟲的存活率分別為 58.33、91.67、38.33、3.33 及 3.33%，其存活率以 23°C 較高；與 Braby and Lyonns (2003) 飼育紅環斑粉蝶 (*Delias nigrina*) 於 19°C 的存活率為 75.3%，23 和 25°C 介於中間，27°C 為 43.5%；陳和歐陽 (2002) 報導以 20、25 及 30°C 飼養琉球青斑蝶 (*Radena similes similes*) 的結果，存活率分別為 73.3、66.7 及 53.3%，此三種蝶類存活率皆是隨著溫度降低而上升，與本試驗在高溫下存活率較高的結果相反。柑橘鳳蝶 (游, 2008)、黑鳳蝶 (馬, 2008) 及大鳳蝶 (歐陽等, 2015) 飼養在 15、20、25 及 30°C 下，在 15°C 下皆不利生長發育，且都於第二齡幼蟲後死亡而無法羽化為成蟲，其中黑鳳蝶從卵至成蟲的存活率在 20、25、30°C 分別為 36、30 及 22%，可以觀察出存活率隨著溫度降低而有升高的趨勢；柑橘鳳蝶飼育在 20、25、30°C 下其存活率為 27.4、28.8、20%，而在同樣溫度下大鳳蝶的存活率分別為 37、66.7 及 28.6%，兩者皆以 25°C 的存活率較好，以上結果與本試驗相較之下，雖然青帶鳳蝶於 15°C 下的存活率為所有試驗溫度中最低，但有 62% 成功羽化為成蝶的個體，而整體存活率的趨勢與黑鳳蝶相反，與柑橘鳳蝶和大鳳蝶則不盡相同。由以上可知，不同蝶種對於溫度的適存度 (fitness) 皆不同，有些蝶種對於高溫的耐受性較強，有些蝶種則對低溫的容忍度較高，且蝴蝶在不同生長階段對溫度的適存度也有差異。就本試驗的結果，青帶鳳蝶屬於廣溫種的蝶種，有較強的適存度。

二、青帶鳳蝶之發育期

(一) 發育日數與速率

在不同定溫下，青帶鳳蝶各蟲期的平均發育日數和發育速率顯示於表 2 和圖 1。由表 2 可知，卵所需的孵化日數在 15、20、25 及 30°C 分別為 16.56、6.44、3.66 及 2.52 日，與蕭 (1992) 所提出青帶鳳蝶的卵在 17.5、20 ~ 25 及 26°C 的孵化日數分別為 6、5 及 4 日相較之下，除了 20 ~ 25°C 的卵期與本試驗結果相符外，其餘試驗溫度的卵期範圍則不太吻合。鄭和張 (2005) 無尾鳳蝶在 15、20、25 及 30°C，所需之卵期分別為 10.2、6.0、4.0 及 2.7 日，馬 (2008) 黑鳳蝶在 15、20、25 及 30°C 下分別為 16.19、6.46、4.00 及 3.50 日，游 (2008) 柑橘鳳蝶在 15、20、25 及 30°C 下為 13.67、6.82、4.08 及 3.69

日，楊等 (2007) 報導絲帶鳳蝶 (*Sericinus montelus*) 在 15、20、25 及 30°C 下為 15.11、6.63、4.91 及 4.01 日，黃 (2009) 以兩種不同寄主植物飼養烏鴉鳳蝶 (*P. bianor thrasymedes*) 在 15、20、25 及 30°C 下所需之卵期分別為 9、7、3.9 及 3.5 日之結果與本試驗之卵期皆隨著溫度上升而縮短，而依蝶種的不同在同樣的溫度下卵所需的孵化日數則不盡相同，但以上鳳蝶科蝴蝶在 20°C 和 25°C 時，孵化日數與本試驗皆介於 6~7 日和 3~4 日之間。

本試驗幼蟲期於 15、20、25 及 30°C 下所需發育日數分別為 88.16、45.50、27.82 及 16.45 日，與前者溫度相同之研究如鄭和張 (2005) 飼養無尾鳳蝶幼蟲期分別為 56.9、31.0、18.2 及 10.4 日，楊等 (2007) 飼養絲帶鳳蝶幼蟲期分別為 53.58、32.52、20.79 及 12.84 日相較之下，其幼蟲期皆比本試驗短。本試驗 20~30°C 之幼蟲期與馬 (2008) 飼養黑鳳蝶於 20、25 及 30°C 下之幼蟲期分別為 52.95、28.39 及 25.27 日，游 (2008) 飼養柑橘鳳蝶於 20、25 及 30°C 下之幼蟲期分別為 54.04、26.31 及 22.60 日，歐陽等 (2015) 飼養大鳳蝶於 20、25 及 30°C 下之幼蟲期分別為 56.71、23.94 及 19.18 日，紀 (2011) 飼養大琉璃鳳蝶於 20、25 及 30°C 下之幼蟲期分別為 49.10、27.76 及 26.33 日，吳和楊 (1995) 飼養大紅紋鳳蝶 (*Byasa polyeuctes termessus*) 於 20、25 及 30°C 下之幼蟲期分別為 42.13、26.70 及 25.62 日以及紅紋鳳蝶 (*Pachliopta aristolochiae interpositus*) 則是 26.27、22.29 及 13.90 日相較之下，20°C 時發育日數較長為黑鳳蝶、柑橘鳳蝶、大鳳蝶及大琉璃鳳蝶，在 25°C 下除了大鳳蝶及紅紋鳳蝶的幼蟲期比本試驗短之外，其餘的鳳蝶幼蟲期的範圍皆與本試驗相近，另外，在 30°C 時只有紅紋鳳蝶幼蟲期的發育日數比本試驗的青帶鳳蝶短，其餘的鳳蝶幼蟲期發育日數皆比本試驗蝴蝶發育日數長。由此可知，蝴蝶的幼蟲期皆隨著溫度降低而延長，此可能為熱帶蝶種的鳳蝶在低溫環境下活動力會降低，新陳代謝也會降低。不同蝶種在相同溫度處理下有不一樣的發育時間，除了本身受到溫度的影響外，另與 Theunissen *et al.* (1985) 報導寄主植物營養元素的多寡，對植食性昆蟲的生長發育具有很大的影響。

在蛹期方面，本試驗於 15、20、25 及 30°C 下發育日數分別為 56.32、26.33、15.71 及 10.28 日，與在相同溫度鄭和張 (2005) 飼養無尾鳳蝶蛹期分別為 88.1、24.3、13.4 及 8.3 日相較之下，無尾鳳蝶在 15°C 的蛹期比本試驗多一個月的發育日數外，其他溫度下蛹期皆稍短於本試驗的結果。本試驗在 20 至 30°C 的蛹期與游 (2008) 飼養柑橘鳳蝶於 20、25 及 30°C 的蛹期為 23.93、11.80 及 9.80 日，馬 (2008) 飼養黑鳳蝶則分別為 26.50、13.67 及 10.36 日，歐陽等 (2015) 飼養大鳳蝶則為 28.78、14.00 及 10.00 日，紀 (2011) 飼養大琉璃鳳蝶為 31.38、16.74 及 14.00 日，吳和楊 (1995) 飼養大紅紋鳳蝶是 21.92、

19.81 及 16.45 日以及紅紋鳳蝶則是 17.33、16.10 及 13.11 日相較之下，蛹的發育日數皆隨著溫度上升而縮短；柑橘鳳蝶、黑鳳蝶、大鳳蝶及大琉璃鳳蝶的蛹期在 20°C 較 30°C 下多了 2 倍以上的時間，此與本試驗結果趨勢相同；而大紅紋鳳蝶和紅紋鳳蝶的蛹期在 20°C 和 30°C 所需時間並無明顯的差距，此與本試驗不盡相同。根據圖 4 結果顯示，在 15 ~ 30°C 範圍時，青帶鳳蝶的卵期、幼蟲期、蛹期、卵發育至羽化成蟲的發育速率與溫度間呈顯著的直線迴歸關係，各蟲期之發育速率皆隨著溫度升高而成固定比例增加，與鳳蝶科的絲帶鳳蝶 (楊等, 2007)、無尾鳳蝶 (鄭和張, 2005)、柑橘鳳蝶 (游, 2008)、黑鳳蝶 (馬, 2008)、大鳳蝶 (歐陽等, 2015) 及大琉璃鳳蝶 (紀, 2011)，斑蝶科的大白斑蝶 (*Idea leuconoe clara*) (陳等, 2003)、樺斑蝶 (童, 1991)、琉球青斑蝶 (陳和歐陽, 2002) 及淡小紋青斑蝶 (*Tirumala limniace limniace*) (陳, 2011)，粉蝶科的日本紋白蝶 (*Pieris rapae crucivora*) (鄭和許, 2003) 和紅環斑粉蝶 (Braby and Lyonns, 2003) 皆有此相同趨勢。

於表 3 和圖 2 可知青帶鳳蝶各齡期於 15、20、25 及 30°C 下所需發育日數皆隨著溫度升高而縮短，發育速率則隨著溫度升高而增快且與溫度呈顯著正相關，而各溫度內幼蟲皆以第五齡期所需的時間最長，此與無尾鳳蝶 (鄭和張, 2005)、黑鳳蝶 (馬, 2008)、大鳳蝶 (歐陽等, 2015)、大琉璃鳳蝶 (紀, 2011) 之報告結果相符。五齡幼蟲所需的發育日數較長的原因，Suwarno *et al.* (2007) 指出五齡幼蟲的取食量占了整個幼蟲期的百分之八十，此階段需要許多的營養才能夠進行化蛹，因此，要有較長的時間攝食寄主植物。

(二) 發育臨界低溫與有效積溫

青帶鳳蝶各蟲期之發育臨界低溫及有效積溫，結果列於表 4。一齡至五齡幼蟲之發育臨界低溫分別為 14.02、13.58、13.80、13.23 及 11.13°C，其中以一齡幼蟲之 14.02°C 為最高，五齡幼蟲之 11.13°C 為最低，因此，幼蟲對低溫的耐受性隨著齡期的增加而提高，此與陳等 (2000) 飼養玉帶鳳蝶之結果一致。青帶鳳蝶卵發育至羽化成蟲的發育臨界低溫為 12.69°C，其發育臨界低溫低於柑橘鳳蝶的 16.26°C (游, 2008)、黑鳳蝶的 12.80°C (馬, 2008)、大鳳蝶的 13.50°C (歐陽等, 2015) 及紅紋鳳蝶的 13.63°C (吳和楊, 1995)，而高於玉帶鳳蝶的 11.11°C (陳等, 2000)、大琉璃鳳蝶的 8.58°C (紀, 2011) 及大紅紋鳳蝶的 4.48°C (吳和楊, 1995)，其中與大琉璃鳳蝶和大紅紋鳳蝶差距甚大，上述之蝶類分佈於本省，可由發育臨界低溫可推測其在本省分佈，如柑橘鳳蝶、黑鳳蝶、大鳳蝶及紅紋鳳蝶屬於平地種類；大紅紋鳳蝶屬於中海拔的蝶種；青帶鳳蝶、大琉璃鳳

蝶和玉帶鳳蝶靠山區平地，也和寄主植物的分布有關。本試驗幼蟲各齡期發育有效積溫以五齡幼蟲之 129.19 日度最高，二齡幼蟲之 34.27 日度最低，而卵發育至羽化成蟲的總有效積溫為 527.74 日度。根據交通部中央氣象局資料統計 2012 年宜蘭地區的月平均溫，計算出宜蘭地區一年的總有效積溫為 3629.86 日度，由此推測青帶鳳蝶在室內飼養或於野外一年可發生 6 至 7 代。

三、幼蟲期頭殼寬度和體長

昆蟲之幼蟲會藉由蛻皮來增大其身體，可以依據蛻下之頭殼寬度來推測幼蟲齡期。表 5 為本試驗在 15、20、25、30°C 下青帶鳳蝶幼蟲各齡期之頭殼寬度，頭殼寬度會皆隨著齡期增加而增大，其中以 20 和 25°C 的頭殼寬較大。在飼養的過程中，15°C 下的一隻五齡幼蟲試圖蛻皮為六齡幼蟲，但因蛻皮失敗而死亡，此與鄭和張 (2005) 飼養無尾鳳蝶於 15°C 下，也有出現六齡幼蟲的情況，推測鱗翅目昆蟲會因環境不宜而藉此增加齡期或滯育來延長幼蟲期。青帶鳳蝶各齡期頭殼寬皆要到達一定大小才能到達下一階段，如五齡幼蟲頭殼寬需達到 3.95 mm 才可化蛹，此與 Morita and Tojo (1985) 報導鱗翅目斜紋夜盜蛾 (*Spodoptera litura*) 頭殼寬度超過 1.65 mm 的個體，於下一齡期必定成為末齡幼蟲相似。另參考陳等 (2000) 玉帶鳳蝶的頭殼寬超過 4.57 mm 和紀 (2011) 大琉璃鳳蝶的頭殼寬超過 4.57 mm，游 (2008) 提出柑橘鳳蝶的頭殼寬超過 3.80 mm 即可化蛹與本試驗相似。青帶鳳蝶於幼蟲期各齡之頭殼寬度常用對數 (Y) 與齡期 (X) 之關係顯示於圖 3，可知在 15 至 30°C 溫度範圍內，青帶鳳蝶幼蟲齡期頭殼寬度的常用對數，會隨著齡期增加而呈現極顯著正相關，即青帶鳳蝶符合戴爾法則。

四、蛹重、成蝶體重、翅長、翅寬及性比

Atkinson (1994) 調查表示，有 80% 的物種包含動物、植物、原生生物及細菌，在生育適溫內，生長於較低溫度下會有較大的體型，稱為溫度體型法則。本試驗於 15、20、25 及 30°C 下之蛹重、成蝶體重、翅長及翅寬之結果如表 7。得知青帶鳳蝶的蛹重在四個溫度下分別為 0.83、1.01、1.04 及 0.83 g，成蝶體重為 0.28、0.36、0.36 及 0.29 g，兩者皆以 20 和 25°C 較重。翅長和翅寬的部分，翅長於 15、20、25 及 30°C 下為 35.28、37.74、40.95 及 40.68 mm，翅寬分別為 29.61、33.26、34.17 及 32.87，可得知 15°C 下翅長與翅寬比另三個處理溫度為小，此外，青帶鳳蝶於 25°C 下的體型為最大，20°C 次之，30°C 再次之，而體型最小的為 15°C，由結果顯示並沒有完全符合溫度體型法則。青帶鳳蝶在不同溫度下之成蟲性別比之結果列於表 8，可得知本試驗於 15~ 30°C 其性別比皆為 1:1，

不會受到溫度的影響而改變，此結果與鳳蝶科的黑鳳蝶 (馬, 2008)、大鳳蝶 (歐陽等, 2015)、大琉璃鳳蝶 (紀, 2011) 在不同溫度下性比皆為 1:1 相同。

綜合以上結果，若是要飼養青帶鳳蝶，在 15°C 下，存活率可達到 62%，但由卵發育至羽化成蟲的時間比飼養於 20°C 多出 2 倍的時間，比 25°C 多出 3.4 倍的時間，而比 30°C 多出 5.5 倍的時間；且在幼蟲頭殼寬、體長、蛹重、成蝶體重、翅長及翅寬等生長表現皆不如其他溫度，故於 15°C 飼養青帶鳳蝶比另三種處理溫度需較高成本。在 20°C 下，其生長表現不亞於 25 和 30°C，但其發育時間為 25°C 的 1.6 倍，為 30°C 的 2.7 倍，且其存活率皆比兩者低，因此 20°C 比 25 和 30°C 更不適合飼養青帶鳳蝶。25 和 30°C 相較之下，存活率都為 90%，而 25°C 由卵發育至羽化成蟲的時間較 30°C 多了將近 18 天，但在體型上比 30°C 大，因此以溫度 25 至 30°C 的範圍，為最適合飼養青帶鳳蝶的條件。

伍、結論

青帶鳳蝶分別飼養於 15、20、25、30 及 35 ± 1°C 五個處理溫度，而生長箱條件皆為相對濕度 80 ± 5% 及光週期 14 L: 10 D，並以樟樹葉片作為食草。其結果顯示，青帶鳳蝶於 35°C 下是無法存活的，而另外四個處理溫度下，以 15°C 為最不適合本種蝴蝶的飼養溫度，除了發育日數最長、生長表現較差及存活率為最低外，且發育五齡幼蟲時，出現有些個體的形態似第四齡期，無法呈現該齡期原本形態特徵的情形；而適合飼養溫度的範圍為 25 至 30°C。在 15、20、25 及 30°C 下，各蟲期發育日數都隨著溫度上升而縮短，而發育速率隨著溫度上升而增快，且發育速率與溫度的關係呈正相關。幼蟲的頭殼寬度隨著幼蟲齡期增長而增大，頭殼增長速度也會隨著齡期增加而漸增，且於各齡期幼蟲的頭殼寬度之常用對數，確實隨著齡期增加而呈直線關係，符合戴爾法則。依卡方適合度檢定下，發現在不同定溫下青帶鳳蝶成蝶之性比皆符合 1:1，因此性比不受溫度的影響而改變。青帶鳳蝶從卵至成蟲之發育臨界低溫 12.69°C，有效積溫為 527.74 日度。由以上結果可知本種蝴蝶為廣溫種的蝶種，而在宜蘭地區一年可發生 6 至 7 世代。台灣位於亞熱帶地區，因多變的地形條件與豐富的生態環境，讓台灣被美譽為「蝴蝶王國」，而現今地球暖化日增加劇，造成氣候變化使許多地區生態環境及動、植物棲息地發生鉅變。因此建立青帶鳳蝶生物學基本資料，了解如何能成功人工飼育蝶類，作為生態教育、學術研究及復育等基石。

參考文獻

- 王平啟、劉宵。2009。樟青鳳蝶的生物學特性及防治。農技服務 26：65-66。
- 白九維、王效岳。1998。台灣的鳳蝶與中國大陸的綜述。淑馨出版社。台北。第 184-187、189-204 頁。
- 吳怡欣、楊平世。1995。大紅紋鳳蝶與紅紋鳳蝶之生物學研究。動物園學報 7：13-14。
- 李俊延、王效岳。1995。金門馬祖蝴蝶和台灣地區蝴蝶之綜述-台灣蝶類圖說 (三)。台灣省立博物館。台北。第 31-34 頁。
- 李俊延、王效岳。2002。台灣蝴蝶圖鑑。貓頭鷹出版社。台北。第 8、28、37-40 頁。
- 李俊延、張玉珍。1988。台灣蝶類圖說。台灣省立博物館出版社。台北。第 9-14 頁。
- 李惠永、楊平世。2005。國有林蝶類重要棲地及資源-東部地區-。行政院農業委員會林務局。台北。第 21-22 頁。
- 周堯。1990。中國蝶類志-上冊。河南科學技術出版社。河南。第 12-21、163 頁。
- 紀明宏。2011。大琉璃紋鳳蝶 (*Papilio paris nakaharai Shirôzu*) 生物學之探討。國立宜蘭大學園藝學系研究所，碩士論文。第 23-30、56-65 頁。
- 洪榆宸、陳素瓊。2016。青帶鳳蝶 (*Graphium sarpedon connectens* Fruhstorfer) 之形態及生活史。宜蘭大學生物資源學刊 12: 51-69。
- 徐堉峰。1999。台灣蝶圖鑑第一卷。台灣省鳳凰谷鳥園。南投。118-125 頁。
- 馬翊凱。2008。黑鳳蝶 (*Papilio protenor amauro Jordan*) 生物特性之研究。國立宜蘭大學園藝學系研究所，碩士論文。第 19-25、40、53-55、59-66 頁。
- 張永仁。2001。台灣的昆蟲-蝶蛾篇。渡假出版社有限公司。台北。第 23 頁。
- 張永仁。2002。台灣賞蝶地圖。晨星出版有限公司。台北。第 270 頁。
- 陳倬民。1988。台灣產蝶類。台灣省政府教育廳。台中。第 17-24 頁。
- 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 5：5-43。
- 陳素瓊、歐陽盛芝、王筱媛、黃校翊、何昇儒、黃信傑、施佳佑、陳文杰。2003。溫度對大白斑蝶 (*Idea leuconoe clara* (Butler)) (鱗翅目：斑蝶科) 發育之影響。台灣昆蟲 23：331-351。
- 陳素瓊、歐陽盛芝。2002。溫度對琉球青斑蝶 (*Radena similes similes* Linnaeus) (鱗翅目：斑蝶科) 發育之影響。台灣昆蟲 22：237-248。

- 陳順立、黃邦侃。1998。青鳳蝶-新型記述。華東昆蟲學報 7: 9。
- 陳鋒蒔。2011。淡小紋青斑蝶 (*Tirumala limniace limniace* (Cramer)) 生物學之研究。國立宜蘭大學園藝學系研究所，碩士論文。第 22-27、47-48、52-58 頁。
- 游書萍。2008。柑橘鳳蝶 (*Papilio xuthus koxinga* Fruhstorfer) 基礎生物學之探討。國立宜蘭大學園藝學系研究所，碩士論文。第 19-24、74-84 頁。
- 湯奇霖、趙仁方。2000。青帶鳳蝶屬蝶類在台東大南地區之發生概況。自然保育季刊 29: 54-60。
- 童維德。1991。樺斑蝶之生物學：產卵行為與各蟲期的發育。國立台灣大學植物病蟲害研究所，碩士論文。71 頁。
- 黃秀惠。2008。台灣鳳蝶科之幼生期。國立嘉義大學生物資源學系研究所，碩士論文。第 108-144 頁。
- 黃俊彰。2009。溫度與食草對烏鴉鳳蝶發育之影響。國立嘉義大學農學院農學研究所林學組碩士論文。第 22-42、102-103、109 頁。
- 歐陽盛芝、陳素瓊、塗文賢。2015。溫度對大鳳蝶發育的影響宜蘭大學生物資源學刊 11:87-104。
- 楊秋生、王軍、王小平、榮秀蘭、雷朝亮。2007。溫度對絲帶鳳蝶生長發育的影響。昆蟲知識 44: 223-226。
- 鄒鐘琳。1980。昆蟲生態學。上海科學技術出版社。上海。第 25-55、138 頁。
- 鄭秋玲、張朝火其。2005。溫度對無尾鳳蝶 (*Papilio demoleus libanius*) (鱗翅目：鳳蝶科) 發育之影響。植物保護學會會刊 47: 293-304。
- 鄭秋玲、許長漢。2003。日本紋白蝶 (*Pieris rapae crucivora*) (鱗翅目：粉蝶科) 之形態及溫度對其發育之影響。植物保護學會會刊 45: 271-284。
- 蕭剛柔。1992。中國森林昆蟲。中國林業出版社。北京。第 1137-1139 頁。
- Atkinson, D. 1994. Temperature and organism size: a biological law for ectotherms? Adv. Ecol. Res. 25: 1-58.
- Braby, M. F., and K. A. Lyonns. 2003. Effect of temperature on development and survival in *Delias nigrina* (Fabricius) (Lepidoptera: Pieridae). Aust. J. Entomol. 42: 138-143.
- Karlsson, B., and C. Wiklund. 2005. Butterfly life history and temperature adaptations; dry open habitats select for increased fecundity and longevity. J. Anim. Ecol. 74: 99-104.
- Koda, K., and H. Nakamura. 2010. Effects of temperature on the development and survival of an endangered butterfly, *Shijimiaeoides divinus barine* (Leech) (Lepidoptera:

- Lycaenidae). Entomol. Sci. 13: 29-34.
- Morita, M., and S. Tojo. 1985. Relationship between starvation and supernumerary ecdysis and recognition of the penultimate-larval instar in the common cutworm, *Spodoptera litura*. Insect Physiol. 31: 307-313.
- Steigenga, M. J., and K. Fischer. 2009. Fitness consequences of variation in developmental temperature in a butterfly. J. Therm. Biol. 34: 244-249.
- Suwarno, M. R. C. Salmah, A. A. Hassan, and A. Norani. 2007. Effect of different host plants on the life cycle of *Papilio polytes* Cramer (Lepidoptera: Papilionidae) (common mormon butterfly). J. Biosains. 18: 35-44.
- Theunissen, J., H. D. Ouden, and A. K. H. Wit. 1985. Feeding capacity of caterpillars on cabbage, a factor in crop loss assessment. Entomol. Exp. Appl. 39: 255-260.

106年 7月 2日 投稿

106年 9月 25日 接受