

## 溫度對大鳳蝶發育的影響

歐陽盛芝<sup>1</sup> 塗文賢<sup>2</sup> 陳素瓊<sup>2\*</sup>

1.國立臺灣博物館 2.國立宜蘭大學園藝學系

### 摘要

爲了大量飼養大鳳蝶(*Papilio memnon heronus* Fruhstorfer)，將大鳳蝶卵分別置於 15、20、25、30 及 35°C、80±5% RH、14L:10D 之生長箱飼養，並分別以檸檬(*Citrus limon*) 的葉片單隻飼育至羽化爲成蝶，觀察各蟲期發育。結果如下，以 20°C 卵的孵化率最高爲 54%，35°C 卵不孵化。幼蟲期以 25°C 的存活率最高達 95.2%；自卵至成蝶之存活率以 25°C 時的 66.7% 爲最高，30°C 之存活率降低至 28.6%。各蟲期之平均發育期，隨溫度升高而縮短，且各蟲期發育速率與飼養溫度之間皆呈直線迴歸關係。從卵孵化至羽化爲成蝶，以 30°C 之發育最快，其平均發育時間爲 33.75±0.85 日，20°C 的發育時間最慢爲 87.01±2.80 日，其發育時間需前者的 2.7 倍。大鳳蝶之發育臨界低溫依卵期、幼蟲期、蛹期及卵至成蟲分別爲 11.37、14.77、14.52 及 13.50°C；各蟲期之有效積溫依卵期、幼蟲期、蛹期及卵至成蟲則分別爲 70.19、275.21、152.46 及 536.03 日度。幼蟲頭殼寬度達 5.09 mm 的閾值即可進入化蛹階段；幼蟲頭殼寬度隨齡期以 1.44~1.47 倍等比增加，幼蟲齡期與頭殼寬度的常用對數之間有直線關係，符合戴爾法則。各齡幼蟲體長隨齡期增長而增加且以 1.69~1.74 倍呈等比增長。大鳳蝶雌雄成蝶之性比(♀:♂)依卡方適合性測驗，20-30°C 皆符合 1:1。上述結果期能提供本種未來引入休閒農業、觀光蝶園或提供教學及大量飼育之參考。

**關鍵詞：**大鳳蝶、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 Temperature on Development of Polymorph Swallowtail, *Papilio memnon heronus* Fruhstorfer

Sheng-Chih Ou-Yang<sup>1</sup> Wen-Hsien Tu<sup>2</sup> Su-Chiung Chen<sup>2\*</sup>

1. National Taiwan Museum 2. Department of Horticulture, National Ilan University

## Abstract

For the mass production of *Papilio memnon heronus* Fruhstorfer, the fresh eggs of *Papilio memnon heronus* Fruhstorfer were collected from the host in a net room. were placed in a growth chamber under conditions of 15, 20, 25, 30 and 35°C, with 80±5% RH and a photoperiod of 14-h light and 10-h darkness. Hatching larva were reared with leaves of *Citrus limon* individually during for the series of observations on the development of the butterfly. Results show that no eggs hatched at 35°C and the highest hatching rate was 54% at 20°C. Survival rate of larval stage was 95.2% at 25°C. The highest survival rate from egg to adult was 66.7% at 25°C, and this decreased to 28.6% at 30°C. Duration in days of life stages decreased as the temperature was risen from 15 to 30°C. The development rates of various life stages and rearing temperatures were correlated by linear regression. At various temperatures, the longest duration was found at 20°C and the shortest at 30°C. The duration at 20°C was 2.7 times longer than that at 30°C. Duration in days of life stages decreased as the temperature risen from 15 to 30°C, and the development rates of the various life stages and rearing temperatures were correlated by linear regression. The shortest developmental period required for the egg to adult was 33.75±0.85 days at 30°C. Relatively, the longest was 87.01±2.80 days at 20°C. The low temperature thresholds for the development of eggs, larvae, pupa and from eggs to adults were estimated to be 11.37, 13.01, 15.61, and 13.65°C respectively. The accumulative effective temperatures for eggs, larvae, and pupa were 70.19, 275.21, and 152.46 degree-days respectively. It required 536.03 degree-days for eggs to develop to adults. Larvae to turn, the threshold value of the average head capsule width for development into pupae was 5.09 mm. The common logarithms of head capsule width of the larval stage and

instars of larvae were correlated using linear regression. Accordingly, positive relationships between these two item are revealed with slopes of linear regression lines of 1.44 to 1.47, which follows Dyar's law. The body length of larval stages increased as the larval instar grew. The increment of the body length of larva was in accordance with the increase in larval instar stage, maintained a ratio of 1.69-1.74 times. The sex ratio of adults were 1:1 for 20-30°C. The results could provide information for leisure agriculture, sightseeing butterfly greenhouse, educational materials and the mass production of this butterfly.

**Keywords:** *Papilio memnon heronus*, temperature, development, lower developmental threshold temperature, accumulative effective temperature, head capsule width

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

## 前 言

大鳳蝶 (*Papilio memnon* Fruhstorfer)，屬於鱗翅目 (Lepidoptera)、鳳蝶總科 (Papilionoidea)、鳳蝶科 (Papilionidae)，英名為 Polymorph Swallowtail 或 Great Mormon Butterfly。本種全世界已知有十餘個亞種，本試驗之大鳳蝶 (*Papilio memnon heronus* Fruhstorfer) 是台灣特有種 (徐，1999; 2013)。大鳳蝶為大型鳳蝶，雌雄異型，雌蝶多態型的昆蟲 (陳，1963、濱野，1986、張，2005 及 Smart, 1991)，形態優美，為具有觀賞價值的蝴蝶之一。雖然，大鳳蝶幼蟲寄主植物以芸香科、柑橘屬為主，但也會取食酸橘、柚子、檸檬、金桔等經濟果樹；其幼蟲、蛹及成蟲之外部形態、體色及斑紋的變化具有研究與科普教育之功用，同時本蝶種對生態環境變化敏感，可作為環境指標的昆蟲；又其成蝶的外型及花紋美麗，常是觀光蝴蝶園、休閒農場具經濟價值的蝶種。有關大鳳蝶正式的生物學文獻資料並不多，目前有張 (1992) 報導其幼生期及產卵誘導、陳和歐陽 (2005) 生活史、陳等 (2014) 探討產卵偏好性與幼蟲食葉量、陳等 (2014) 大鳳蝶的形態與四種寄主植物及易 (2007) 光週期和溫度研究外，其餘都為野外觀察和坊間一些賞蝶圖鑑，且多以成蝶為觀察及描述的重點。因此本研究探討大鳳蝶不同溫度分別對其生長發育的影響，以建立本種生物學之基本資料。

## 材料與方法

### 一、供試蟲源和飼養方法

以陳等 (2014) 相同方式，將採自宜蘭縣龍潭湖的大鳳蝶雌、雄蝶各 5 隻，攜回釋放於以鍍鋅管建構，外覆百吉網的簡易網室 (長 6.1 m、寬 4.7 m、高 2.6 m) 內，網室內栽種

多種蜜源植物供成蝶吸蜜、求偶、交配及遮陰避雨。將酸桔(*Citrus sunki*)盆栽(高約 120 cm, 含約 50-80 片葉片)移入網室內供本種雌蝶產卵, 爲了擴大蟲源族群足供試驗和防止天敵危害, 每日以目視法檢查所有葉片, 並採集含卵葉片攜回實驗室內, 葉柄以含適量水的濕棉花裹住保鮮, 放入以盒蓋以針刺密集小通風孔的圓形半透明塑膠盒(盒口直徑 11.0 cm、底部直徑 9.0 cm、高 7.5 cm, 約 500 ml)飼養, 每盒約放 20-30 粒卵, 待卵孵化後, 每天更換足量新鮮酸桔葉片供幼蟲取食並清理其糞便, 俟幼蟲至三齡後, 以毛筆移入透明壓克力飼養箱(長 30 cm、寬 30 cm、高 30 cm)繼續飼養至羽化爲成蝶, 每箱約放 30 隻幼蟲, 俟羽化爲成蝶即放入前述之簡易網室內交尾產卵, 經飼養 3 代後進行試驗。

## 二、溫度對大鳳蝶生長發育的影響

試驗當日先將一盆經檢視不含蟲卵、幼蟲、蜘蛛等生物且摘除不良葉片的酸桔盆栽放入前述簡易網室內供大鳳蝶雌蝶產卵, 4 小時後在網室內採集新鮮含卵葉片, 每粒卵單獨放入盒蓋以針刺密集小孔的中型圓形透明塑膠盒(盒口直徑 9.2 cm、底部直徑 8.0 cm、高 5.8 cm, 約 300 ml)中, 然後依試驗組別分置於  $15\pm 1$ 、 $20\pm 1$ 、 $25\pm 1$ 、 $30\pm 1$ 、 $35\pm 1$  °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放有新鮮檸檬(*Citrus limon*)葉片的中型圓形透明塑膠盒中單隻飼育。每組 50 粒卵, 共計 250 粒卵。當各組供試幼蟲飼育至五齡時, 即移入盒蓋以針刺密集小孔的大型圓形不透明紙盒(盒口直徑 13.0 cm、底部直徑 11.0 cm、高 10.0 cm, 約 850 ml)飼養。供試期間每日清理飼養盒並提供充足新鮮之檸檬葉片供其取食, 飼養至蛹期時, 在大型圓形不透明紙盒內懸掛較粗糙之紙巾, 以利羽化爲成蝶。每日觀察並記錄其卵孵化日、各齡幼蟲蛻皮日、化蛹日、蛹色、羽化日、成蝶性別等, 同時依不同發育階段所測量記錄的資料, 計算出各蟲期之存活率、發育日數、幼蟲之體長與頭殼寬度、蛹之體重、成蝶之體重和翅之長度與寬度、蛹色與成蝶性比等, 並且將所得相關數據製成圖表。測量方法與陳(2014)方法同。

## 三、資料分析

本試驗所得的生物學基本資料包含各蟲期發育日數、各齡期幼蟲體長、頭殼寬度、蛹重、成蝶體重、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)計算出平均值(Mean)和標準誤差(Standard Error)。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。幼蟲各齡期頭殼寬度和體長與齡期間的相關性是採用直線迴歸分析法分析。雌、

雄性比例依卡方( $X^2$ )之適合性測驗(Chi-Square Test for Goodness of Fit)進行計算。大鳳蝶各蟲期的發育臨界低溫 and 有效積溫，係根據本試驗所得的各蟲期各項生長資料，依鄒(1980)所提之有效積溫公式來計算。

## 結 果

### 一、大鳳蝶之存活率

大鳳蝶在 15、20、25、30 及 35±1°C 等 5 種溫度，80±5 % RH，光週期 14L : 10D 條件下以檸檬葉片單隻飼養的各蟲期存活率如表 1。卵在 35°C 時完全不孵化，15°C 時僅有 1 粒卵孵化，孵化率為 2%，20、25、30°C 組的卵孵化率分別為 54.0、42.0、28.0%，卵孵化率以 20°C 最高，最低者為 35°C。由於 35°C 組無孵化幼蟲及其他各蟲期之試驗結果，故於相關圖表中皆省略本組數據。至於 15°C 組雖孵化出 1 隻幼蟲卻並未存活，因此，除第一齡幼蟲體長外，有關第二齡幼蟲以後各蟲期的生長發育數據均無，故於圖表中省略。

表1 不同溫度下的大鳳蝶各蟲期存活率

Table 1 The survival rate (%) of various development stage of *Papilio memnon heronus* under different temperatures

Life stage	Survival rate (%) ( <i>n</i> ) <sup>1)</sup>				
	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C
<b>Egg</b>	2.0(1)	54.0(27)	42.0(21)	28.0(14)	0.0(0)
<b>1st instar larva</b>	0.0(0)	100.0(27)	100.0(21)	100.0(14)	0.0(0)
<b>2nd instar larva</b>	0.0(0)	85.2(23)	95.2(20)	100.0(14)	0.0(0)
<b>3rd instar larva</b>	0.0(0)	95.7(22)	100.0(20)	92.9(13)	0.0(0)
<b>4th instar larva</b>	0.0(0)	100.0(22)	100.0(20)	92.3(12)	0.0(0)
<b>5th instar larva</b>	0.0(0)	100.0(22)	100.0(20)	91.7(11)	0.0(0)
<b>Larva</b>	0.0(0)	81.5(22)	95.2(20)	78.6(11)	0.0(0)
<b>Pupa</b>	0.0(0)	72.7(16)	80.0(16)	100.0(11)	0.0(0)
<b>Egg to adult</b>	0.0(0)	37.0(10)	66.7(14)	28.6(4)	0.0(0)

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

幼蟲期的存活率在 20°C、25°C、30°C 組分別為 81.5、95.2、78.6%，以 25°C 組最高，30°C 組最低，二者相差 16.6%。蛹期的存活率依序為 20°C 組 72.7%、25°C 組 80.0%、30°C 組 100.0%，以 30°C 組最高，20°C 組最低，二者相差 27.3%。自卵發育至羽化為成蟲的存活率，以 25°C 組最高為 66.7%，30°C 組最低只有 28.6%，相差 38.1%。

幼蟲各齡期的存活率，僅 20、25、30°C 組有結果，此三個溫度飼育的一齡幼蟲之存

活率皆高達 100%，二齡幼蟲僅 30°C 組維持 100%，存活率最低的為 20°C 組的 85.2%，而 25°C 則是 95.2%；25°C 組自三齡至五齡幼蟲存活率皆為 100%；20°C 組三齡幼蟲存活率達 95.7%，四齡幼蟲及五齡幼蟲未出現死亡，存活率均為 100；30°C 組三齡至五齡的存活率分別為 92.9、92.3、91.7%。由此可知，除 20°C 組於一齡時有 4 隻幼蟲死亡；二及三齡各 1 隻幼蟲死亡；25°C 組僅於二齡時 1 隻幼蟲死亡；30°C 組幼蟲從三齡至五齡時各 1 隻幼蟲死亡外，其餘齡期幼蟲均全數存活，故可知此蝶幼蟲各齡期除了二齡幼蟲在 20°C 存活率為 85.2% 外，其餘各齡期皆達 91.7% 以上；因此整個幼蟲期的存活率以 25°C 組最高達 95.2%，30°C 組最低為 78.6%。故由表 1 可知，在五種不同溫度飼育結果，從卵發育至羽化為成蝶的存活率，15°C 和 35°C 均為 0，20°C 組和 30°C 組皆低於 50%，僅有 25°C 組可達 66.7% 以上，以五種溫度比較之結果，以 25°C 存活率最高。

## 二、大鳳蝶之發育期

不同溫度下大鳳蝶各蟲期的平均發育日數如表 2。卵在 15 至 30°C 時，其孵化所需日數隨溫度之上升而縮短。卵期的平均發育日數以 30°C 最短為  $3.79 \pm 0.11$  日，15°C 最長需  $19.00 \pm 0.00$  日，四組間皆存在顯著性差異 ( $p < 0.05$ )。幼蟲期在 15°C 僅 1 隻幼蟲存活且只存活 3 天即死亡無法發育至二齡；幼蟲期以 20°C 最長需  $56.71 \pm 1.38$  日；其次是 25°C 的  $23.94 \pm 0.50$  日，30°C 最短只需  $19.18 \pm 0.40$  日，三組之間皆有顯著差異 ( $p < 0.05$ )，30°C 比 20°C 縮短 37.53 日。20°C 幼蟲期平均發育時間為 30°C 的 3.4 倍，且隨溫度之上升而縮短。蛹期的發育期亦以 30°C 最快，只需  $10.00 \pm 0.41$  日，而 20°C 需要  $28.78 \pm 1.08$  日，且 20°C 與 25、30°C 之間皆有顯著差異 ( $p < 0.05$ )。自卵孵化至成蟲期所需日數，以 20°C 發育時間最長，平均為  $87.01 \pm 2.80$  日，其次是 25°C 的  $43.07 \pm 0.57$  日，而發育期最短者為 30°C 時只需  $33.75 \pm 0.85$  日，三組之間皆有顯著性差異，其中 30°C 比 20°C 時縮短 53.3 日。由結果顯示，不同溫度下，大鳳蝶的各蟲期之發育日數皆隨溫度升高而縮減，且在 20°C 飼養之平均幼蟲期、蛹期及卵至成蟲的各發育階段，皆比在 30°C 所飼養的時間長約 2.7 倍以上，且各蟲期在 20-30°C 試驗溫度內均能完成生長、發育之過程。

大鳳蝶幼蟲期各齡之平均發育日數，由表 2 結果得知，一和四齡幼蟲在 20、25、30°C 間之平均發育期隨溫度升高而縮短，且三組之間均有顯著差異 ( $p < 0.05$ )；二、三及五齡幼蟲在 25 和 30°C 間之平均發育期均無顯著差異，但二組處理與 20°C 則均有顯著差異，且從一齡幼蟲至五齡幼蟲在 20°C 之平均發育期均比 30°C 所需時間長 3 倍以上。

大鳳蝶不同溫度的各齡期幼蟲之發育速率經直線迴歸分析結果(圖 1)，一至五齡發育速率( $Y$ )與溫度( $X$ )之關係，皆呈直線關係且呈正相關，其一至五齡期幼蟲之直線迴歸

表2 不同溫度下的大鳳蝶各蟲期發育日數

Table 2 The developmental periods of various development stages of *Papilio memnon heronus* under different temperatures

Life stage	Developmental period (Mean±SE, days) <sup>1)</sup> (n) <sup>2)</sup>			
	15°C	20°C	25°C	30°C
Egg	19.00±0.00a(1)	8.33±0.16b(27)	5.05±0.11c(21)	3.79±0.11d(14)
1st instar larva	0.00(0)	8.22±0.51a(23)	4.10±0.14b(20)	2.86±0.18c(14)
2nd instar larva	0.00(0)	7.00±0.44a(22)	3.15±0.17b(20)	2.46±0.18b(13)
3rd instar larva	0.00(0)	8.05±0.35a(22)	3.05±0.18b(20)	2.58±0.19b(13)
4th instar larva	0.00(0)	9.50±0.28a(22)	5.15±0.23b(20)	3.50±0.15c(12)
5th instar larva	0.00(0)	16.29±0.05a(21)	8.89±0.29b(20)	8.00±0.23b(11)
Larva	0.00(0)	56.71±1.38a(21)	23.94±0.54b(20)	19.18±0.40c(11)
Pupa	0.00(0)	28.78±1.08a(10)	14.00±0.15b(14)	10.00±0.41c(4)
Egg to adult	0.00(0)	87.01±2.80a(10)	43.07±0.57b(14)	33.75±0.85c(4)

1) Means within a row followed by the same letter are not significantly different at 5% confidence level according to LSD.

2) n in parentheses is the number of observed.

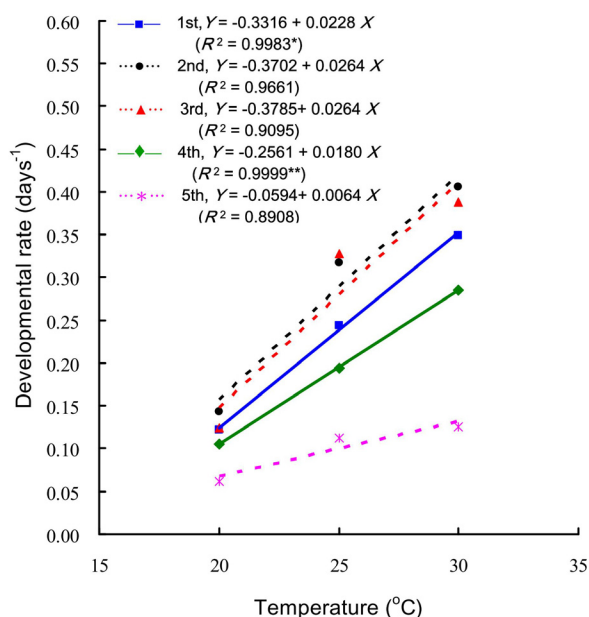


圖 1 不同溫度下的大鳳蝶各齡期幼蟲發育速率(Y)和溫度(X)之關係。

Fig. 1 The relationship between developmental rate and temperature of each instar larva of *Papilio memnon heronus* under different temperatures.

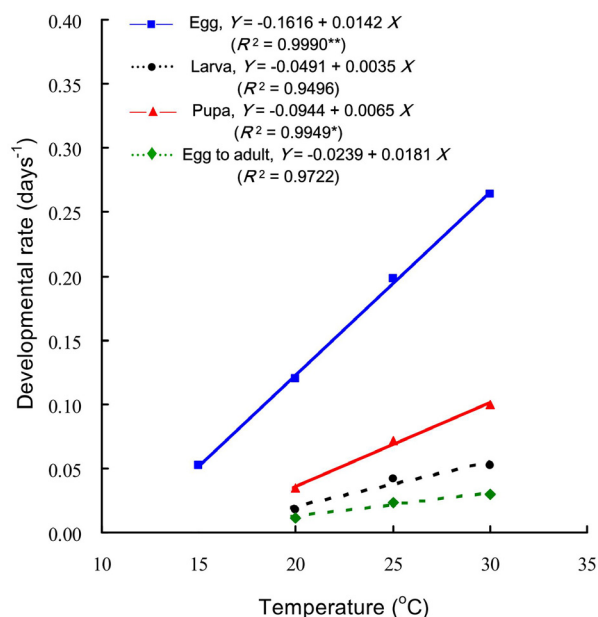


圖 2 不同溫度下的大鳳蝶各蟲期發育速率(Y)和溫度(X)之關係。

Fig. 2 The relationship between developmental rate and temperature of various development stage of *Papilio memnon heronus* under different temperatures.

方程式及  $R^2$  值分別如下： $Y = -0.3316 + 0.0228 X$ ， $R^2 = 0.9983$ 、 $Y = -0.3702 + 0.0264 X$ ， $R^2 = 0.9661$ 、 $Y = -0.3785 + 0.0264 X$ ， $R^2 = 0.9095$ 、 $Y = -0.2561 + 0.0180 X$ ， $R^2$

= 0.9999 及  $Y = -0.0594 + 0.0064 X$ ,  $R^2 = 0.8908$ 。本蝶之各發育期之發育速率與不同溫度經直線迴歸分析結果如圖 2, 各發育期之發育速率( $Y$ )與溫度( $X$ )直線迴歸關係亦呈正相關, 其卵期、幼蟲期、蛹期及卵至成蟲期之直線迴歸方程式及  $R^2$  值分別如下:  $Y = -0.1616 + 0.0142X$ , 迴歸係數  $R^2 = 0.9990$ 、 $Y = -0.0491 + 0.0035 X$ , 迴歸係數  $R^2 = 0.9496$ 、 $Y = -0.0944 + 0.0065X$ , 迴歸係數  $R^2 = 0.9949$  及  $Y = -0.0239 + 0.0181 X$ , 迴歸係數  $R^2 = 0.9722$ 。

根據上述在不同溫度各蟲期之平均發育日數之資料, 可依公式計算出大鳳蝶各蟲期之發育臨界低溫及有效積溫結果如表 3, 顯示卵、幼蟲第一齡至第五齡期、蛹期及卵至成蟲之發育臨界低溫, 分別為 11.37、14.99、14.41、15.34、14.19、11.05、14.52 及 13.50°C, 而發育有效積溫分別為 70.19、43.70、36.64、34.53、55.41、140.03 及 536.03 日度。大鳳蝶各蟲期中以卵期臨界溫度最低為 11.37°C, 而幼蟲期以第五齡幼蟲最低為 11.05°C。因此, 根據本種在室內飼養卵至成蟲有效積溫及氣象局在宜蘭地區 1981-2010 年的月平均溫度所提供的資料, 計算出有效積溫為 3299.3 日度(附錄一), 故大鳳蝶在宜蘭地區一年約可發生 6 代。

表3 大鳳蝶各蟲期在15至30°C間的發育臨界低溫及有效積溫

Table 3 The lower developmental threshold temperature and accumulative effective temperature for various development stages of *Papilio memnon heronus* under a temperature range from 15 to 30°C

Life stage	Lower developmental threshold temperature (°C)	Accumulative effective temperature (K, degree-days)
<b>Egg</b>	11.37	70.19
<b>1st instar larva</b>	14.99	43.70
<b>2nd instar larva</b>	14.41	36.64
<b>3rd instar larva</b>	15.34	34.53
<b>4th instar larva</b>	14.19	55.41
<b>5th instar larva</b>	11.05	140.03
<b>Larva</b>	14.77	275.21
<b>Pupa</b>	14.52	152.46
<b>Egg to adult</b>	13.50	536.03

### 三、幼蟲期頭殼寬度和體長

在不同溫度下, 大鳳蝶幼蟲期各齡期頭殼寬度列於表 4。得知各溫度下本種幼蟲的頭殼寬度皆隨齡期增加而增長。在 25°C 組幼蟲各齡期頭殼寬皆比 20、30°C 組為寬, 且 25°C 和 20、30°C 組間有顯著差異( $p < 0.05$ )。在 25°C 組一齡幼蟲與 20、30°C 組相差均在



表 4 不同溫度下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* under different temperatures

Larval stage	Head capsule width (Mean±SE, mm) <sup>1)</sup> (n) <sup>2)</sup>		
	20°C	25°C	30°C
1st instar larva	1.18±0.02b(23)	1.29±0.02a(21)	1.15±0.02b(14)
2nd instar larva	1.61±0.03b(22)	1.77±0.02a(20)	1.62±0.02b(13)
3rd instar larva	2.33±0.02b(22)	2.52±0.02a(20)	2.39±0.05b(12)
4th instar larva	3.48±0.04b(22)	3.75±0.04a(20)	3.46±0.07b(12)
5th instar larva	5.09±0.09b(21)	5.64±0.09a(20)	5.29±0.09b(11)

1) Means within a row followed by the same letter are not significantly different at 5% confidence level according to LSD.

2) n in parentheses is the number of observed.

0.1 mm 以上，隨著齡期的增加，頭殼寬差異有逐漸變大之趨勢，至五齡時 25°C 組頭殼寬與 20、30°C 組相差分別為 0.55、0.35 mm，且與 20、30°C 兩處理組間有顯著差異。一齡幼蟲頭殼寬度在各處理溫度下，需大於 1.15 mm，時蛻變為二齡幼蟲，而二-五齡幼蟲的頭殼寬度分別在 1.61、2.33、3.46 及 5.09 mm 以上，方可蛻變為次一齡蟲。由此可知，大鳳蝶幼蟲的頭殼依齡期有一定的寬度。將大鳳蝶各齡幼蟲連續齡期的次一齡期與前一齡期之平均頭殼寬度相除所得的比值如表 5，20°C 組依序為 1.36、1.45、1.49、1.46，平均為 1.44±0.03；25°C 組分別為 1.37、1.42、1.49、1.50，平均為 1.45±0.03；30°C 組各為 1.41、1.48、1.45、1.53，平均為 1.47±0.03。因溫度不同幼蟲頭殼寬度隨齡期以 1.44-1.47 倍呈等比增加，以溫度升高至 30°C 時之頭殼增長較快。

表 5 不同溫度下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* under different temperatures

Larval stage	Average ratio of head capsule width of next and current instar		
	20°C	25°C	30°C
2nd / 1st instar	1.36	1.37	1.41
3rd / 2nd instar	1.45	1.42	1.48
4th / 3rd instar	1.49	1.49	1.45
5th / 4th instar	1.46	1.50	1.53
<b>Average (Mean±SE)</b>	1.44±0.03	1.45±0.03	1.47±0.03

另將溫度 20-30°C 下幼蟲各齡期頭殼寬度的常用對數(Y)與齡期(X)之直線迴歸分析如圖 3，並得 20、25 及 30°C 之直線迴歸方程式分別為  $Y = -0.1022 + 0.1603 X$ 、 $Y = -0.0652 + 0.1607 X$  及  $Y = -0.1143 + 0.1655 X$ ，各直線之  $R^2$  值皆在 0.997 以上，不同溫度之頭殼

寬度的常用對數與齡期呈正相關。即在溫度 20-30°C 範圍內，大鳳蝶幼蟲齡期頭殼寬度的常用對數確隨齡期增加而呈直線關係。

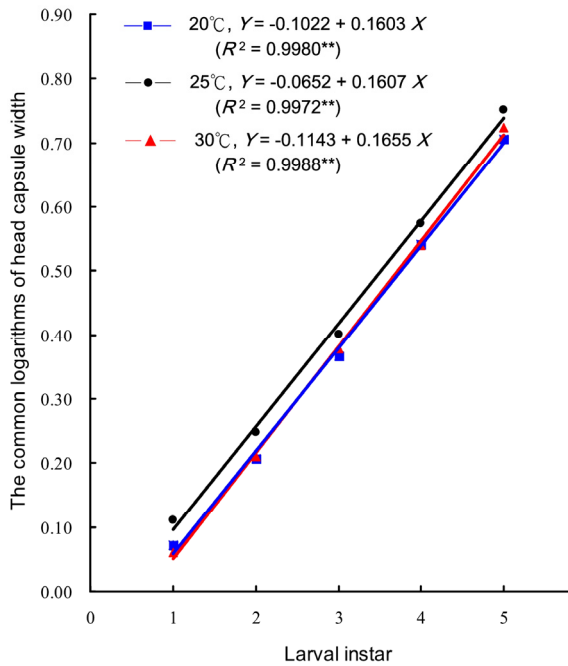


圖 3 不同溫度下的大鳳蝶各齡期幼蟲頭殼寬度常用對數(Y)和齡期(X)之關係。

Fig. 3 The relationship between the common logarithms of head capsule width of each instar larva of *Papilio memnon heronus* under different temperatures.

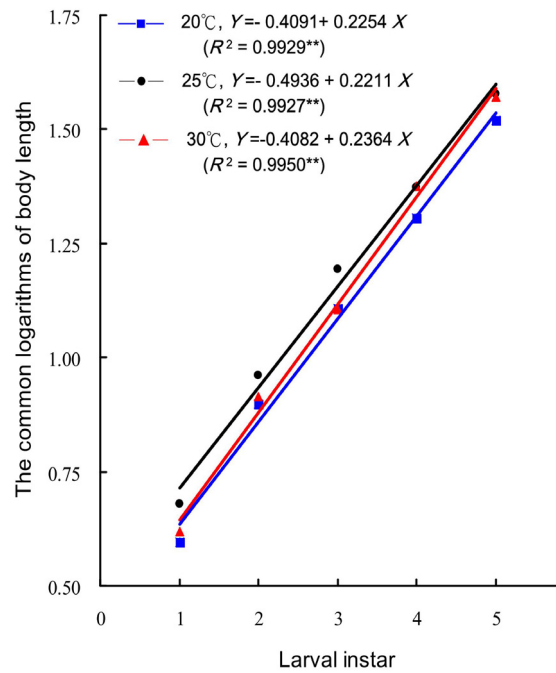


圖 4 不同溫度下的大鳳蝶各齡期幼蟲體長常用對數(Y)和齡期(X)之關係。

Fig. 4 The relationship between the common logarithms of body length of each instar larva of *Papilio memnon heronus* under different temperatures.

在不同溫度下，大鳳蝶幼蟲各齡期的體長變化結果如表 6。由表可知各溫度下本種幼蟲的體長皆隨齡期增加而增長。剛孵化第一齡幼蟲在 15、20、25、30°C 處理組的體長各為  $3.82 \pm 0.00$ 、 $3.95 \pm 0.08$ 、 $4.78 \pm 0.08$ 、 $4.16 \pm 0.19$  mm，其中以 25°C 與 15、20°C 組間之體長有顯著差異；第二齡幼蟲在 15°C 處理下並無存活，在 25°C 組的體長為  $9.13 \pm 0.18$  mm，較 20、30°C 組的  $7.89 \pm 0.18$ 、 $8.23 \pm 0.31$  mm 長且有顯著差異；第三齡幼蟲亦以 25°C 組的體長  $15.58 \pm 0.51$  mm 最長，且與 20、30°C 組有顯著差異；第四、五齡幼蟲在 20°C 組較短與 25、30°C 組有顯著性差異；由此可知，第二齡至第三齡幼蟲皆以 25°C 組體長最長，但第四至第五齡幼蟲時在 25、30°C 組並無顯著差異，故在 20-30°C 處理組間飼養大鳳蝶對其幼蟲體長有影響。將大鳳蝶各齡期幼蟲連續體長的次一齡期與前一齡期之平均體長相除所得的比值如表 7，20°C 組依序為 2.00、1.63、1.58、1.64，平均為  $1.71 \pm 0.10$ ；25°C 組分別為 1.91、1.71、1.52、1.60，平均為  $1.69 \pm 0.09$ ；30°C 組各為 1.98、1.55、1.86、1.57，平均為  $1.74 \pm 0.11$ 。因溫度不同幼蟲體長隨齡期以 1.69-1.74 倍呈等比增加，以溫

度升高至 30°C 時體長增長較快。

另在溫度 20-30°C 下，各齡期幼蟲體長之常用對數( $Y$ )和齡期( $X$ )之直線迴歸分析如圖 4，並得 20、25 及 30°C 組之直線迴歸方程式分別為  $Y = -0.4091 + 0.2254 X$ 、 $Y = -0.4936 + 0.2211 X$  及  $Y = -0.4082 + 0.2364 X$ ，各直線之  $R^2$  值皆在 0.9927 以上，因此，不同溫度之幼蟲體長的常用對數與齡期呈正相關。即在溫度 20-30°C 範圍內，大鳳蝶幼蟲齡期體長的常用對數確隨齡期增加而呈直線關係。

表 6 不同溫度下的大鳳蝶各齡期幼蟲體長

Table 6 The body length of each instar larva of *Papilio memnon heronus* under different temperatures

Larval stage	Body length (Mean±SE, mm) <sup>1)</sup> (n) <sup>2)</sup>			
	15°C	20°C	25°C	30°C
1st instar larva	3.82±0.00b(1)	3.95±0.08b(23)	4.78±0.08a(20)	4.16±0.19ab(14)
2nd instar larva	0.00(0)	7.89±0.18b(22)	9.13±0.18a(20)	8.23±0.31b(13)
3rd instar larva	0.00(0)	12.83±0.31b(22)	15.58±0.51a(20)	12.76±0.61b(12)
4th instar larva	0.00(0)	20.21±0.60b(22)	23.65±0.57a(20)	23.76±1.02a(12)
5th instar larva	0.00(0)	33.07±1.03b(21)	37.86±0.82a(18)	37.24±0.91a(11)

1) Means within a row followed by the same letter are not significantly different at 5% confidence level according to LSD.

2) n in parentheses is the number of observed.

表 7 不同溫度下的大鳳蝶各齡期幼蟲次一齡期和前一齡期之平均 體長比

Table 7 The average ratio of body length of the subsequent divided by this instar larva of *Papilio memnon heronus* under different temperatures

Larval stage	Average ratio of body length of next and current instar		
	20°C	25°C	30°C
2nd / 1st instar	2.00	1.91	1.98
3rd / 2nd instar	1.63	1.71	1.55
4th / 3rd instat	1.58	1.52	1.86
5th / 4th instar	1.64	1.60	1.57
Average (Mean±SE)	1.71±0.10	1.69±0.09	1.74±0.11

#### 四、蛹重、成蝶重、翅長、翅寬及性比

在不同溫度下，大鳳蝶之蛹重、成蟲重、翅長、翅寬結果列於表 8。由於 35°C 卵不孵化且 15°C 的孵化率極低只有 2%，幼蟲最多只活到一齡即死亡，因此以 20、25 及 30°C 三個處理進行分析比較。其蛹重以 25°C 組為 1.81±0.04 g 較重，30°C 組為 1.57±0.07 g 次之，20°C 組為 1.28±0.09 g 較輕，且三處理組間有顯著差異( $p < 0.05$ )。在成蝶重以 25°C

組的  $0.59 \pm 0.04$  g 較重， $30^{\circ}\text{C}$  組為  $0.43 \pm 0.06$  g 較輕，且兩處理組間有顯著差異。而成蝶翅長與翅寬皆以  $25^{\circ}\text{C}$  組稍比  $20$ 、 $30^{\circ}\text{C}$  組為長，但三個溫度處理組間皆無顯著差異。

表 8 不同溫度下的大鳳蝶蛹重、成蝶體重、翅長及翅寬

Table 8 The pupal weight, adult weight, wing length and width of *Papilio memnon heronus* under different temperatures

Measure item (unit)	Head capsule width (Mean $\pm$ SE, mm) <sup>1)</sup> (n) <sup>2)</sup>		
	20 $^{\circ}\text{C}$	25 $^{\circ}\text{C}$	30 $^{\circ}\text{C}$
<b>Pupal weight (g)</b>	1.28 $\pm$ 0.09c(10)	1.81 $\pm$ 0.04a(16)	1.57 $\pm$ 0.07b(4)
<b>Adult weight (g)</b>	0.52 $\pm$ 0.05ab(7)	0.59 $\pm$ 0.04a(13)	0.43 $\pm$ 0.06b(4)
<b>Wing length (mm)</b>	55.19 $\pm$ 1.42a(7)	56.88 $\pm$ 0.82a(13)	56.04 $\pm$ 0.93a(4)
<b>Wing width (mm)</b>	39.05 $\pm$ 0.80a(7)	40.59 $\pm$ 0.80a(13)	40.18 $\pm$ 1.32a(4)

1) Means within a row followed by the same letter are not significantly different at 5% confidence level according to LSD.

2) n in parentheses is the number of observed.

在  $20$ 、 $25$  及  $30^{\circ}\text{C}$  處理組中，出現綠色型與褐色型蛹比率之結果如表 9，分別為  $9:7$ 、 $8:8$  及  $6:5$ 。另將羽化成蝶之雌雄數量，並依  $\chi^2$  之適合性測驗 (Chi-Square of goodness of fit) 求得雌雄成蟲之性比 ( $\text{♀}:\text{♂}$ )，在  $20$ 、 $25$  及  $30^{\circ}\text{C}$  處理組中皆符合  $1:1$ 。因此雌雄性比不受此試驗溫度範圍而有所影響。

表 9 不同溫度下的大鳳蝶蛹色、雌雄蝶數及成蝶性比

Table 9 The pupal color, number of male and female, and sex ratio of *Papilio memnon heronus* under different temperatures

Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	Pupal color		No. of male	No. of female		Sex ratio <sup>1)</sup>
	Green	Brown		Form achates	Form agenor	
<b>20</b>	9	7	7	4	0	1:1
<b>25</b>	8	8	5	7	2	1:1
<b>30</b>	6	5	2	2	0	1:1

1) The sex ratio was calculated by Chi-Square Test for Goodness of Fit.

## 討 論

### 一、大鳳蝶之存活率

昆蟲的生長發育不僅與本身的生物特性有關，並與溫度有著密切關係。本試驗在  $15$ 、 $20$ 、 $25$ 、 $30$ 、 $35^{\circ}\text{C}$ 、 $80 \pm 5\%$  RH、14L:10D(5:00開燈，19:00關燈)之條件下，大鳳蝶卵孵化率以  $20^{\circ}\text{C}$  組最高為  $54.0\%$ ，而  $35^{\circ}\text{C}$  卵皆不孵化， $15^{\circ}\text{C}$  組只有  $2\%$ ，由此可知， $35^{\circ}\text{C}$  高溫和  $15^{\circ}\text{C}$  低溫不適於此蝶卵和幼蟲之發育。陳等(2003) 與本試驗相同條件飼養大白班

蝶(*Idea leuconoe clara*)於35°C組下亦無卵孵化之結果是相同，且據呂等(2004) 於光週期 13L:11D條件下，以馬兜鈴葉片飼育麝香鳳蝶(*Byasa alcinous*)於34°C組卵不孵化，雖然光週期不同，但此蝶卵亦不適於34°C高溫下發育，結果與本試驗相似，故持續性於此高溫下卵是無法存活的。陳等(2000) 和本試驗相同條件下以酸橘葉片飼養玉帶鳳蝶(*Papilio polytes pasikrates*)，於20、25、30°C組下，卵孵化率只有39-52%，卵約50%沒有孵化為幼蟲與本試驗結果略同。而據楊等(2007) 與本試驗相同溫度和光週期條件下，以馬兜鈴葉片飼育絲帶鳳蝶(*Sericinus montelus*)之卵孵化率，以15°C組最低81.52%，25°C組最高99.32%，但20、25及35°C三組間並無顯著差異，故此蝶之卵孵化率並不受此溫度範圍之影響；而大白斑蝶在15、20、25、30°C時的卵孵化率分別為63.0、86.0、80.0、85.0%和絲帶鳳蝶趨勢是一樣，但本種卻無此趨勢。由此可知，本種在15°C組的孵化率為2%，推測此溫度是最低有效溫度，而35°C為致死高溫。

本試驗幼蟲各齡期的存活率，僅 20、25、30°C組有結果，存活率最低的為二齡幼蟲 20°C組的 85.2%，其餘皆達 91.7%以上存活率，故本種幼蟲各齡期只有少數幼蟲死亡，即各齡幼蟲大多可順利成長。易 (2007) 與本試驗相同條件以柑橘(*Citrus. limon*)葉片飼育大鳳蝶幼蟲各齡期的存活率以 30°C組最低，在四齡幼蟲死亡率很高只有 24%，而 20、25°C組最低為 78%與本試驗在 30°C組幼蟲各齡期的高存活率結果是不同的。另大白斑蝶在 20-30°C下，一齡幼蟲在 20°C組存活率為 86.1%外，其餘皆達 90.9%以上(陳等，2003)；玉帶鳳蝶一齡幼蟲在 20、25°C組存活率分別為 84.6、87.8%外，其餘皆達 95.2%以上(陳等，2000)；而無尾鳳蝶只有在 30°C組的五齡幼蟲死一隻，存活率為 96.7%，其餘皆達 100%存活率 (鄭和張，2005)，以上文獻研究幼蟲各齡期的存活率與本試驗之結果相似。本試驗大鳳蝶整個幼蟲期以 25°C組最高為 95.2%，30°C組最低 78.6%，此與易(2007)飼養大鳳蝶幼蟲期之存活率在 20、25°C組分別為 67、65%，而 30°C組只有 4%完成幼蟲階段之結果不同。試驗蟲源雖是同蝶種，但本種有十多個亞種，有如此差異可能與地理環境、蟲源等有關。楊等人(2007)絲帶鳳蝶幼蟲期的存活率在 20-35°C組下為 78.01±8.45-90.83±5.66%，但處理組間並無顯著差異，其中以 25°C組最高為 90.83%；此與本試驗大鳳蝶幼蟲期的存活率 25°C組高達 95.2%，趨勢並不相同。

本試驗蛹期的存活率隨著溫度升高而增加，以 30°C組最高 100.0%，20°C組最低 72.7%，此與易 (2007)大鳳蝶在 20、25°C組下蛹存活率為 100%，但 30°C組只有 50%。陳等(2000)玉帶鳳蝶在 20-30°C下蛹存活率為 97.4-100%和楊等(2007) 在 20-30°C下絲帶鳳蝶蛹存活率為 96.67-100%，等結果有所不同。

本試驗自卵發育至羽化為成蟲的存活率，以 25°C 組最高為 66.7%，30°C 組最低只有 28.6%，此與易 (2007) 大鳳蝶在 20、25°C 組條件下，由幼蟲至成蟲的存活率分別為 67、65%，而 30°C 組只有 3% 之結果有些差異，但皆以 25°C 組存活率較高。鄭和張(2005)以 20、25 及 30°C 下飼育無尾鳳蝶，由幼蟲至羽化成蟲的存活率高達 95% 以上；陳等(2000) 玉帶鳳蝶在 20、25 及 30°C 組下，卵至成蟲的存活率為 33-34%，故無尾鳳蝶和玉帶鳳蝶雖然二者趨勢不同，但在 20-30°C 並不受此溫度範圍之影響，其存活率與本試驗結果相異。由以上可知，大鳳蝶屬於溫帶蝶種，但不同蝶種對於溫度的適存度皆不同。

## 二、大鳳蝶之發育期

不同溫度下大鳳蝶各蟲期的平均發育日數如表 2。卵在 15 至 30°C 時，其孵化所需日數隨溫度之上升而縮短。易等(2007)與本試驗相同溫度和光週期條件下飼養大鳳蝶，各蟲期之平均發育日數，幼蟲期於 20、25、30°C 下分別為 39.3±3.9、25.4±4.9、22.0±7.1 日，且隨溫度之上升而縮短。由此可知，幼蟲期在 30°C 組較本試驗 19.18 日短 2.8 日，但在 20°C 則快 17.4 日；蛹期的發育日數在 30°C 只需 7.5±0.1 日，20°C 則需要 25.6±0.8 日，均比本試驗短 2.5-3.2 日，雖然易等(2007)在雲南省昆明市白龍寺中國林科院資源昆蟲研究所國家林業局資源昆蟲培育與利用重點實驗室內進行大鳳蝶之幼蟲期和蛹期的發育日數在 30 和 20°C 都短於本試驗之結果，其中以 30°C 組幼蟲期最短，但存活率較低，而 25°C 幼蟲期和蛹期的平均發育日數則與本試驗結果相近。故大鳳蝶卵、幼蟲及蛹期之發育日數確實受溫度影響，而玉帶鳳蝶(陳等，2000)、無尾鳳蝶(鄭和張，2005)、絲帶鳳蝶(楊等，2007)、麝香鳳蝶(呂等，2004)、大白斑蝶(陳等，2003)、琉球青斑蝶(陳和歐陽，2002)、日本紋白蝶(鄭和許，2003)及紅環斑粉蝶(Braby and Lyonns, 2003)等，這些蝶種的卵期、幼蟲期及蛹期皆有此相同趨勢，即隨溫度之上升而發育期縮短。

本試驗大鳳蝶的卵期、幼蟲期、蛹期、卵發育至羽化成蟲的發育速率與溫度間，皆呈顯著的直線關係，各蟲期之發育速率皆隨著溫度升高而成固定比例增加，此與鳳蝶科的絲帶鳳蝶(楊等，2007)、無尾鳳蝶(鄭和張，2005)、琉球青斑蝶(陳和歐陽，2002)，粉蝶科的日本紋白蝶(鄭和許，2003)及紅環斑粉蝶(Braby and Lyonns, 2003)，而大白斑蝶(陳等，2003)等蝶種之趨勢大致上相同。

大鳳蝶各蟲期之發育臨界低溫及有效積溫(表 3)。由結果顯示，在 15-30°C 下卵期、幼蟲期、蛹期及卵至成蝶等各期之發育臨界低溫皆在 11.05°C 以上，幼蟲期發育臨界低溫 14.77°C，有效積溫為 275.21 日度、完成一個生活環需 536.03 日度。本試驗結果與易等(2007) 在雲南省昆明市白龍寺中國林科院資源昆蟲研究所國家林業局資源昆蟲培育

與利用重點實驗室內進行飼養大鳳蝶之幼蟲期發育臨界低溫 7.5°C 及有效積溫 475.4 日度差異很大，即幼蟲期發育臨界低溫相差 7°C 以上，有效積溫相差 61 日度，雖同是大鳳蝶，但本種在全世界已知有十餘個亞種，推測供試蟲源、時間不同，結果也相異。據本試驗蝶種之發育有效積溫及氣象局所提供宜蘭地區全年溫度記錄，計算出有效積溫為 3299.3 日度，故大鳳蝶在此地區一年約可發生 6 代。

### 三、幼蟲期頭殼寬度和體長

在不同溫度下，大鳳蝶幼蟲期各齡期頭殼寬度列於表 4。得知在 20-30°C 下本種幼蟲的頭殼寬度皆隨齡期增加而增長，且有逐漸變大之趨勢。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 5.09 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，於下一齡期必定成爲末齡幼蟲，而低於此閾值下幼蟲會反覆蛻皮，以達此閾值爲止。另參考陳等(2000)所觀察玉帶鳳蝶的頭殼寬超過 4.57 mm 方可化蛹；而鄭和張(2005)無尾鳳蝶的頭殼寬超過 4.19 mm；日本紋白蝶的頭殼寬超過 2.17 mm(鄭和許，2003)即可化蛹，由此可知蝶種不同，幼蟲的頭殼依齡期有一定的寬度。本試驗大鳳蝶在不同溫度下，幼蟲頭殼寬度隨齡期以 1.44-1.47 倍呈等比增加，其中以溫度 30°C 時頭殼增長較快，且不同溫度之頭殼寬度的常用對數與齡期呈正相關，此與陳等(2003)大白斑蝶以 1.45-1.54 倍呈等比增加相似。即在 20-30°C 溫度範圍內，大鳳蝶幼蟲各齡期頭殼寬度的常用對數隨齡期增加而呈直線關係，符合戴爾法則。

不同溫度下，大鳳蝶幼蟲各齡期的體長變化結果如表 6、7 及圖 4。可知在 20-30°C 條件下飼養大鳳蝶對其幼蟲體長確有影響。因溫度不同幼蟲體長隨齡期以 1.69-1.74 倍呈等比增加，以溫度升高至 30°C 組時之體長增長較快。不同溫度之幼蟲體長的常用對數與齡期呈正相關。即在溫度 20-30°C 範圍內，大鳳蝶幼蟲齡期體長的常用對數確隨齡期增加而呈直線關係，符合戴爾法則。

### 四、蛹重、成蝶體重、翅長、翅寬及性比

20、25 及 30°C 溫度下，大鳳蝶之蛹重、成蟲重、翅長、翅寬結果列於表 8。其蛹重在 25°C 時爲  $1.81 \pm 0.04$  g 較重；20°C 爲  $1.28 \pm 0.09$  g 較輕。在成蝶重以 25°C 時的  $0.59 \pm 0.04$  較重，30°C 時的  $0.43 \pm 0.06$  較輕，而成蝶翅長介於 55.19-56.88 mm 與翅寬 39.05-40.59 mm，於三組溫度處理間皆無顯著差異。由結果顯示此蝶種並沒有完全符合溫度體型法則，在有效溫度帶內，生長於較低溫下會有較大的體型(Atkinson, 1994)；但大白斑蝶 20-30°C 成蝶翅長與翅寬符合溫度體型法則，隨著溫度降低成蝶翅長與翅寬較大(陳等，

2003)。雌雄成蟲之性比(♀:♂)在 20、25 及 30°C 中皆符合 1:1。因此雌雄性比也不會因溫度而有所改變。此與鄭和張(2005)研究無尾鳳蝶在不同溫度下性比皆為 1:1 相同。

綜上所述，本種卵無法在 35°C 的定溫條件下存活，幼蟲在 20~30°C 可存活。從卵飼育至成蝶的存活率 28.6-66.7%，各蟲期的發育日數皆隨溫度升高而縮短，發育速率隨溫度升高而增加，以 25°C 組的存活率、發育日數及發育速率較佳。此蝶各蟲期的發育速率隨溫度升高而呈固定比例增加。幼蟲期的第五齡幼蟲發育臨界溫度最低為 11.05°C，較一至四齡幼蟲之 14.19-15.34°C 的耐低溫性佳，蛹期在低於 14.52°C 即停止發育，而卵發育至成蝶的溫度至少必須高於 13.50°C，由卵發育至成蝶的有效積溫需要 536.03 日度才能完成一世代，故在宜蘭地區一年約發生 6 代。大鳳蝶是體型碩大容易觀察，且極為普遍而常見的蝴蝶，可做為學校自然觀察教育課程。且近年來政府推動休閒活動與知性生態旅遊，許多休閒農場則以生態特色為軸心，發展具特色的休閒產業(例如：蝴蝶生態館、螢火蟲、蛙類生態農場等)，因此，大鳳蝶極具潛力，可成為未來各地觀光、蝴蝶園、休閒農場及生態教育農場中的閃亮明星。

### 參考文獻

- 呂龍石、金大勇、朴錦。2004。溫度與光週期對麝鳳蝶生展發育之影響。昆蟲知識 41: 572-574。
- 易傳輝。2007。美鳳蝶與柑橘鳳蝶和枯葉蛺蝶三種的滯育生態學研究。中國林業科學研究院，博士論文，188 頁。
- 易傳輝、陳曉鳴、史軍義、周成理。2007。光週期和溫度對美鳳蝶幼蟲發育歷期的影響。林業科學研究 20: 547-550。
- 徐堉峰。1999。臺灣蝶圖鑑。第一卷(Butterflies of Taiwan. vol 1.)。臺灣省立鳳凰谷鳥園。南投。第 144-147 頁。
- 徐堉峰。2013。臺灣蝴蝶圖鑑【上】弄蝶、鳳蝶、粉蝶。晨星出版有限公司，臺中，臺灣，397 頁。
- 張永仁。2005。蝴蝶 100。遠流出版社。臺北。第 44-45 頁。
- 張進昌。1993。大鳳蝶(*Papilio memnon*)產卵誘導及幼生期之研究。國立臺灣師範大學生物學研究所，碩士論文，68 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: 35-43。



- 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。臺灣昆蟲 22: 237-248。
- 陳素瓊、歐陽盛芝。2003。溫度對大白斑蝶(*Idea leuconoe clara* (Butler))(鱗翅目：斑蝶科)發育之影響。臺灣昆蟲 23: 331-351。
- 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: 51-86。
- 陳素瓊、歐陽盛芝、塗文賢。2014。大鳳蝶的產卵偏好與幼蟲食葉量初探。國立臺灣博物館學刊, 67: 75-95。
- 陳維壽。1963。臺灣區蝶類大圖鑑。中國文化雜誌社。臺北。第 9-10、74-75 頁。
- 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。
- 鄒鍾琳。1980。昆蟲生態學。上海科學技術出版社。上海。第 25-55 頁。
- 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展之影響。植物保護學會會刊 45: 271-284。
- 鄭秋玲、張朝火其。2005。溫度對無尾鳳蝶(*Papilio demoleus libanius* Fruhstorfer)(鱗翅目：鳳蝶科)發育之影響。植物保護學會會刊 47: 293-305。
- 濱野榮次。1986。臺灣蝴蝶生態大圖鑑。牛頓出版社。臺北。第 178-180 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.
- 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.
- SAS Institute. 2003. SAS/STAT user's guide. SAS Institute, Cary, NC.
- Smart, P. 1991. The Illustrated Encyclopedia of the Butterfly World. Tiger Books International PLC, London, UK, 275 pp.

104年 9月 20日投稿  
104年 12月 15日接受

## 附 錄

附錄1 宜蘭地區從1981年至2010年間的月平均溫度及有效積溫

Appendix 1 Monthly average temperatures and accumulative effective temperatures from 1981-2010 in Ilan

Month	Average temperature (°C) <sup>1)</sup>	Accumulative effective temperature (K, degree-days) <sup>2)</sup>	
<b>Jan.</b>	16.3		86.8
<b>Feb.</b>	16.9		95.2
<b>Mar.</b>	18.9		167.4
<b>Apr.</b>	21.7		246.0
<b>May</b>	24.4		337.9
<b>June</b>	26.8		399.0
<b>July</b>	28.6		468.1
<b>Aug</b>	28.3		458.8
<b>Sept.</b>	26.5		390.0
<b>Oct.</b>	23.6		313.1
<b>Nov.</b>	20.6		213.0
<b>Dec.</b>	17.5		124.0
<b>Average</b>	22.5	<b>Sum</b>	3299.3

1) The date is according to Central Weather Bureau (Website: [http://www.cwb.gov.tw/7/climate/monthly\\_Mean/Taiwan\\_tx.htm](http://www.cwb.gov.tw/7/climate/monthly_Mean/Taiwan_tx.htm)).

2)  $K = \text{Days} \times (\text{Average temperature} - \text{lower developmental threshold temperature})$