

文章编号: 1001-1498(2007)04-0547-04

# 光周期和温度对美凤蝶幼虫发育历期的影响

易传辉, 陈晓鸣<sup>\*\*</sup>, 史军义, 周成理

(中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 国家林业局资源昆虫培育与利用重点实验室, 云南 昆明 650224)

**摘要:**观察了人工气候箱中不同光周期和温度条件下美凤蝶幼虫生长发育。结果表明:光周期和温度对美凤蝶幼虫发育历期影响明显;在相同温度下,不同光周期下幼虫历期差异明显;在 20 12~14 h, 25 11~15 h, 30 11~15 h 光照下, 历期分别为 39.3~48.5, 25.4~36.1, 19.6~29.0 d, 最长和最短历期分别相差 9.2, 10.6, 9.6 d。随着温度升高, 在相同光照下, 幼虫发育历期缩短;在 12.0, 12.5, 13.0, 13.5, 14.0 h 光照下, 幼虫发育起点温度分别为 13.6, 13.3, 9.2, 12.2, 7.5 °C, 有效积温分别为 332.7, 340.5, 372.1, 350.9, 475.4 日度;光周期对幼虫的发育起点温度和有效积温有一定影响。

**关键词:**美凤蝶;光周期;温度;历期;幼虫

中图分类号: S763.42 文献标识码: A

## Influence of the Photoperiod and Temperature on Larval Developmental Periods of the Great Mormon Butterfly *Papilio memnon* Linnaeus

YI Chuan-hui, CHEN Xiaoming, SHI Jun-yi, ZHOU Cheng-li

(Research Institute of Resource Insects, CAF; Key Laboratory of Resource Insect Breeding and Utilization, State Forestry Administration, Kunming 650224, Yunnan, China)

**Abstract:** The growth and development of larval of *Papilio memnon* were investigated under different photoperiods and temperatures which could be controlled in the climate-box. The effects of photoperiod and temperature on larval developmental periods of *Papilio memnon* were very remarkable. At same temperature, larval developmental periods had significant difference. At 20 °C and during daylength of 12~14 h, the larval developmental periods were in the scope of 39.3~48.5 days, and the margin between of the longest and shortest periods was 9.2 days. At 25 °C and during daylength of 11~15 h, larval developmental periods were in the scope of 25.4~36.1 days, and the margin between of the longest and shortest periods was 10.6 days. At 30 °C and during daylength of 11~15 h, larval developmental periods were in the scope of 19.6~29.0 days, and the margin between of the longest and shortest periods was 9.6 days. At the same daylength, larval developmental periods became shorter when the temperature was rising. Under daylengths of 12.0, 12.5, 13.0, 13.5 and 14.0 h, the developmental threshold temperature of larva were 13.6, 13.3, 9.2, 12.2, and 7.5 °C, the temperature effective thermal sum were 332.7, 340.5, 372.1, 350.9 and 475.4 degree-days. At certain extent, the developmental threshold temperature and temperature effective thermal sum of larva were affected by photoperiod.

**Key words:** *Papilio memnon*; photoperiod; temperature; developmental periods; larval

收稿日期: 2007-01-21

基金项目: 国家林业局'948'引进项目“珍稀濒危蝴蝶培育技术引进”(2005-4-59)的部分内容

作者简介: 易传辉(1970—),男,四川开江人,在读博士研究生,主要研究方向:观赏昆虫培育与利用。

\*实验材料由四川峨眉山市胡芳女士提供,在此表示感谢!

\*\* 通讯作者

美凤蝶 (*Papilio mannon* Linnaeus) 属鳞翅目凤蝶科 (Papilionidae) 凤蝶属 (*Papilio*) 的一种大型昆虫, 为雌雄异型, 雌性多型, 我国南方种, 多见于长江以南各省, 如云南、四川、湖北、湖南、浙江、江西、广东、广西、福建、海南、台湾等; 国外主要分布于日本、锡金、印度、缅甸、泰国、斯里兰卡等。光温对蝴蝶生长发育的影响国内仅见吕龙石等<sup>[1]</sup>对麝凤蝶 (*Byasa alcinous* Klug) 的研究, 而美凤蝶只有形态特征和滞育方面的研究报道<sup>[2~5]</sup>。国外对美凤蝶的研究报道相对较多, 涉及饲养、滞育等方面<sup>[6,7]</sup>, 但涉及光温对生长发育影响的研究不多<sup>[8,9]</sup>。为进一步开发蝴蝶资源, 促进蝴蝶产业的快速发展和减少对野生资源的破坏, 有必要对光温等环境因素对美凤蝶生长发育等生物学特性影响进行深入研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

美凤蝶实验种群来源于四川省峨眉山市。2004年6月从四川省峨眉山伏虎寺 (海拔约 500 m) 采集美凤蝶成虫放入试验繁殖园内, 以 10% 蜂蜜作为成虫补充营养, 繁殖后代用作试验虫源。越冬蛹保存于室外繁殖园内。

### 1.2 实验方法

实验光周期为 24 h 循环光周期。光周期根据峨眉山地区 1 a 中的自然光照长度 (查《天文年历》中民用蒙影晨昏时刻表) 和自然条件下美凤蝶在当地进入滞育和滞育蛹羽化前后的实际光照进行设置, 并参考了其它昆虫对光周期的反应; 温度设置参考了美凤蝶在峨眉山地区生长季节 (4 月中下旬至 9 月中下旬) 的实际温度。

1.2.1 幼虫饲养 幼虫用新鲜柑橘 (*Citrus* spp.) 叶喂养, 1~2 龄幼虫饲养于无色透明小塑料瓶 (直径

4.2 cm, 高 8 cm) 内, 每瓶 10 只, 3~4 龄饲养于无色透明塑料杯 (直径 7.2 cm, 高 13 cm) 内, 每杯 10 只; 进入 5 龄后饲养于无色透明塑料盒 (长 15.5 cm, 宽 8 cm, 高 12 cm) 内, 每盒 5~10 只。气候箱内湿度设置为 90% ( $\pm 7\%$ ), 光照强度为 3 000 lx。

1.2.2 光周期和温度实验 温度设置为 ( $20 \pm 1$ ), ( $25 \pm 1$ ) 和 ( $30 \pm 1$ ), 共 3 个梯度。光周期设置为 9 个 (LD 11 13, LD 11.5 12.5, LD 12 12, LD 12.5 11.5, LD 13 11, LD 13.5 10.5, LD 14 10, LD 14.5 9.5, LD 15 9), 每个光周期的光照时间相差 30 min。将初孵化幼虫移入相应光周期和温度组合的气候箱中, 观察记录各组幼虫的发育历期。应用 SPSS13.0 统计软件进行方差分析; 利用积温公式  $T = C + KV$  计算有效积温 ( $K$ ) 和发育起点温度 ( $C$ ), 式中  $T$  为平均温度,  $V$  为发育速率 (发育历期的倒数)。

## 2 结果与分析

### 2.1 光周期对美凤蝶幼虫历期的影响

2.1.1 20 ℃ 下不同光周期对幼虫历期的影响 方差分析表明: 不同光照对相同龄期幼虫影响差异显著, 但对预蛹历期无明显影响, 差异不显著 ( $p < 0.05$ ) (表 1)。不同光照下 1~5 龄幼虫最长和最短历期分别相差 1.7、3.0、2.5、4.5、5.8 d。随着龄期的增加, 幼虫最长和最短历期差值有加大趋势, 在 5 龄时达到 5.8 d, 这可能与 5 龄幼虫对光周期敏感有关。

研究还表明, 不同生长阶段幼虫对光周期反应存在差异。如 2 龄、3 龄和 4 龄幼虫最长历期均出现在 14.5 h 光照时, 2 龄和 3 龄幼虫最短历期出现在光照 14 h 时, 4 龄出现在 13 h 时; 5 龄幼虫在 13 h 光照下历期最短, 最长历期出现在 12.5 h 光照时。

表 1 20 ℃ 时不同光周期下幼虫的发育历期

光照 /h	样本数 /头	历期 /d						
		1龄	2龄	3龄	4龄	5龄	预蛹	幼虫期
12.0	20	7.0 $\pm$ 0.6 b	5.3 $\pm$ 0.5 ab	6.3 $\pm$ 1.1 a	7.8 $\pm$ 0.8 ab	14.6 $\pm$ 0.74 a	1.8 $\pm$ 0.71 ab	40.1 $\pm$ 1.1 a
12.5	25	7.8 $\pm$ 1.2 c	5.6 $\pm$ 0.5 bc	6.0 $\pm$ 0.9 a	9.5 $\pm$ 1.9 c	20.2 $\pm$ 1.5 bc	2.2 $\pm$ 0.4 ab	48.5 $\pm$ 4.7 b
13.0	40	6.7 $\pm$ 1.1 ab	5.9 $\pm$ 0.7 c	5.6 $\pm$ 1.2 a	7.5 $\pm$ 0.7 a	14.4 $\pm$ 1.0 a	2.2 $\pm$ 0.7 ab	41.4 $\pm$ 3.4 a
13.5	25	6.8 $\pm$ 1.4 ab	6.5 $\pm$ 0.7 d	5.3 $\pm$ 0.6 a	10.5 $\pm$ 1.6 dc	19.3 $\pm$ 1.9 bc	1.6 $\pm$ 0.5 a	46.8 $\pm$ 4.9 b
14.0	21	6.1 $\pm$ 0.3 a	4.9 $\pm$ 0.5 a	5.2 $\pm$ 0.9 a	7.8 $\pm$ 1.1 ab	14.7 $\pm$ 2.6 a	2.7 $\pm$ 1.3 b	39.3 $\pm$ 3.9 a
14.5	25	-	7.9 $\pm$ 1.2 e	7.7 $\pm$ 1.4 b	12.0 $\pm$ 2.1 e	20.0 $\pm$ 2.2 c	1.8 $\pm$ 0.4 ab	-
15.0	20	-	6.8 $\pm$ 0.4 d	6.3 $\pm$ 1.8 a	9.0 $\pm$ 0.6 bc	18.4 $\pm$ 4.4 b	2.4 $\pm$ 0.6 ab	-

注: 表中“-”为没有观察数据; “ $\pm$ ”号的前部分为平均值, 后部分为标准差; 同列中具有相同字母表示差异不显著 ( $p < 0.05$ ), 多重比较采用 S-N-K 方法, 下同。

2.1.2 25 时不同光周期对幼虫历期的影响 方差分析表明:不同光照对相同龄期幼虫影响差异显著,但对预蛹的影响不明显 ( $p < 0.05$ ) (表 2)。不同光照条件下 1~5 龄幼虫最长和最短历期分别相差 2.0、1.2、2.3、3.3、6.8 d。与 20 时近似,随着龄期的增加,不同光照条件下幼虫最长和最短历期差值有加大趋势,5 龄时达到 6.8 d。

与 20 时相似,不同龄期幼虫对光照反应存在差异。1 龄最短历期出现在 11 h 光照时,最长历期出现在 12 h 光照时,2 龄、3 龄和 4 龄幼虫最短历期均出现在 14 h 光照时,但最长历期却分别出现在 11.5、12.0、15.0 h 光照时,而 5 龄幼虫最长和最短历期分别出现在 12 h 和 13 h 光照时。

表 2 25 时不同光周期下幼虫的发育历期

光照 /h	样本数 /头	历期 /d						
		1龄	2龄	3龄	4龄	5龄	预蛹	幼虫期
11.0	25	3.0 ±0.5 a	3.3 ±5.0 a	5.0 ±1.3 cd	7.1 ±0.9 bc	12.0 ±1.5 a	1.1 ±0.3 a	29.1 ±2.5 ab
11.5	25	3.2 ±0.8 a	3.9 ±1.3 b	4.5 ±1.0 bc	6.6 ±0.7 bc	12.2 ±2.0 a	1.0 ±0.0 a	29.3 ±5.3 ab
12.0	40	5.0 ±1.3 c	3.1 ±0.6 b	5.5 ±1.1 d	6.8 ±0.4 bc	16.5 ±7.0 b	1.1 ±0.2 a	36.0 ±8.1 c
12.5	37	3.3 ±1.1 a	3.2 ±0.6 b	4.7 ±1.9 cd	6.8 ±1.7 bc	12.9 ±3.9 a	1.0 ±0.2 a	30.4 ±8.2 abc
13.0	45	3.1 ±0.3 a	3.0 ±0.5 b	3.5 ±1.0 ab	6.1 ±1.9 ab	9.7 ±1.1 a	1.2 ±0.4 a	26.3 ±3.8 ab
13.5	40	3.5 ±1.2 a	3.2 ±0.6 b	3.7 ±0.9 ab	5.1 ±2.1 a	10.4 ±2.5 a	1.4 ±0.9 a	25.4 ±4.0 a
14.0	20	4.2 ±0.4 b	2.7 ±0.5 b	3.2 ±0.5 a	5.1 ±1.6 a	10.2 ±2.6 a	1.0 ±0.0 a	25.4 ±4.9 a
14.5	25	4.0 ±0.9 b	3.2 ±0.4 b	4.4 ±0.6 bc	7.9 ±1.4 cd	12.8 ±1.6 a	1.1 ±0.27 a	32.3 ±4.6 abc
15.0	25	4.5 ±1.0 bc	3.7 ±0.8 a	4.6 ±0.9 bcd	8.4 ±1.4 d	12.9 ±1.2 a	1.2 ±0.4 a	33.1 ±4.4 bc

2.1.3 30 时不同光周期对幼虫历期的影响 方差分析表明:不同光照对相同龄期幼虫影响差异显著,但对预蛹的影响不明显 ( $p < 0.05$ ) (表 3)。不同光照条件下 1~3 龄幼虫最长和最短历期差异不大,差值分别为 1.0、0.8、1.0 d,4 龄和 5 龄差异略大,分别为 3.7 和 3.5 d。与 20、25 时近似,相同光照对

不同龄期幼虫的影响不同。1 龄幼虫最长历期出现在 13.5 h 时,2 龄和 3 龄分别出现在 14.5 h 和 15.0 h 时,最短历期分别出现在 13.0 h、12.5 h、12.5 h 时,4 龄和 5 龄最长历期均出现在 14.5 h 光照时,而最短历期则分别出现在 13.0、11.5 h 光照时。

表 3 30 时不同光周期下美凤蝶幼虫的发育历期

光照 /h	样本数 /头	历期 /d						
		1龄	2龄	3龄	4龄	5龄	预蛹	幼虫期
11.0	37	3.4 ±0.6 a	2.6 ±0.7 ab	2.9 ±0.3 ab	4.1 ±1.1 ab	8.3 ±0.7 abc	1.0 ±0.0 a	20.2 ±2.2 b
11.5	37	3.4 ±0.6 a	2.8 ±0.5 bc	3.7 ±1.3 b	3.8 ±1.2 ab	7.8 ±0.8 a	1.0 ±0.0 a	20.0 ±2.2 b
12.0	37	3.4 ±0.6 a	2.6 ±0.5 ab	3.4 ±1.1 ab	3.6 ±0.9 ab	8.5 ±0.6 abc	1.3 ±0.5 a	20.0 ±2.2 b
12.5	57	3.3 ±0.8 a	2.3 ±0.5 a	2.8 ±0.9 a	3.6 ±0.9 ab	9.0 ±1.1 bcd	1.1 ±0.3 a	20.1 ±2.0 b
13.0	50	2.8 ±0.6 b	2.6 ±0.6 ab	3.7 ±1.2 b	3.3 ±0.7 a	8.3 ±1.0 abc	1.0 ±0.0 a	19.6 ±2.0 b
13.5	68	3.8 ±1.2 a	2.7 ±0.6 ab	3.2 ±0.8 ab	4.9 ±1.9 b	7.9 ±1.5 ab	1.0 ±0.0 a	20.4 ±4.2 b
14.0	69	3.6 ±0.8 a	2.4 ±0.5 ab	3.2 ±1.0 ab	5.0 ±1.6 b	10.7 ±3.5 cd	1.0 ±0.0 a	22.0 ±7.1 b
14.5	51	3.3 ±0.8 a	3.1 ±0.7 c	3.6 ±1.3 b	7.0 ±1.0 c	11.3 ±1.7 d	1.0 ±0.0 a	27.4 ±2.7 a
15.0	48	3.4 ±1.0 a	2.5 ±0.5 ab	3.8 ±0.7 b	6.3 ±1.6 c	11.0 ±2.0 d	1.0 ±0.0 a	29.2 ±1.9 a

2.2 温度对幼虫历期的影响

温度对幼虫的发育历期影响十分明显 (表 1~3)。在相同光照条件下,随着温度上升,幼虫的生长发育加快,发育历期缩短。在 12~14 h 光照条件下,30 的最长历期分别比 25、20 时短 14.0、26.5 d,最短历期分别短 5.8、19.7 d。

温度不仅直接影响幼虫的生长发育,还通过光

周期间接影响幼虫的生长发育。主要表现为随着温度的上升,光周期对幼虫的影响被削弱,不同光周期下幼虫历期差异变小,波动减弱,如在 30 时 11~14 h 光照范围内,幼虫历期均在 20 d 左右,最长与最短历期仅相差 2.4 d。

2.3 幼虫的发育起点温度和有效积温

根据表 1~3 幼虫发育历期,求得不同光周期下

幼虫发育起点温度和有效积温(表 4)。结果表明:光周期对发育起点温度和有效积温有一定影响,当光照缩短时,幼虫倾向于减少有效积温,而发育起点温度总体上则呈现上升趋势。最高和最低有效积温相差 142.7 日度,发育起点温度相差 6.1,差异明显。

表 4 不同光照条件下幼虫的发育  
起点温度和有效积温

项目	光照/h				
	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0
K/日度	332.7	340.5	372.1	350.9	475.4
C/	13.6	13.3	9.2	12.2	7.5

### 3 讨论

#### 3.1 光周期对美凤蝶幼虫的影响

##### 3.1.1 寄主植物与光周期

在 20、14 h 光照和 25、13.5~14 h 光照下幼虫的历期最短,发育最快,说明 20、25 时 14 h 光照是最适宜美凤蝶幼虫生长发育光照。这可能与其寄主柑橘植物的生长发育有关,是美凤蝶在长期进化过程中形成的一种生态适应,由于柑橘植物成熟叶片较厚,刚孵化幼虫口器较弱小,无法取食成熟老叶,因此嫩叶对美凤蝶幼虫成活和生长发育极其重要。在四川峨眉山地区,20 左右光照长度为 14 h 时是 4 月下旬,25 左右 13.5~14 h 光照为 8 月中旬至 9 月初,此时正是柑橘属植物春梢和秋梢萌发生长时节,大量嫩叶为美凤蝶幼虫提供了充足的食料,有利于美凤蝶的生长发育。

##### 3.1.2 不同光周期下幼虫的发育历期

Yohio 和 Ishii 分别在 20、25 下,对美凤蝶热带种群幼虫在 10、12、14 h 光照下历期进行了研究。结果表明,在 20 时 12、14 h 光照下幼虫历期相差仅 0.2 d,在 25 时 10、14 h 光照条件下相差 1.4 d,据此, Yohio<sup>[8,9]</sup>认为光周期对美凤蝶幼虫历期的影响不明显。本研究中,在 20 时 12 h 和 14 h 光照对幼虫影响也较小,历期仅相差 0.8 d,但在 12~15 h 光照范围内,最长和最短历期相差 9.2 d,25 时相差达 10.6 d,差异十分显著。出现这种情况的原因可能是不同地理种群对光周期反应的差异所致,同时与 Yohio 和 Ishii 的研究仅涉及到三个光周期有关。

#### 3.2 光周期和温度在美凤蝶养殖中的应用

无论是在 20,还是在 25 下,在 14 h 光照时幼虫的发育历期均最短,死亡率最低。因此,在美凤蝶养殖时,可将养殖室内光周期设置为 LD 14:10。

在相同光照条件下,随着温度的上升,幼虫发育加快,历期缩短。因此,在养殖美凤蝶时,可适当提高养殖室温度,有利于提高单位时间内美凤蝶的产量。在 30 时,幼虫和蛹死亡率较大,羽化畸形率也较高,因此养殖室温度不宜超过 30。从本研究结果来看,养殖室温度设置为 25,光周期 LD 14:10 为一个较合适的选择。

#### 3.3 发育起点温度和有效积温

不同光周期下幼虫的发育起点温度和有效积温存在差异,这种差异体现了美凤蝶对变化环境的适应,同时也体现光周期钟(photoperiodic clock)在不同光周期下的精确调节,是美凤蝶适应环境的结果,正是这种调节,使美凤蝶得已生存和繁衍。人们很早就注意到了光周期对昆虫生长发育的影响, Saunders 等<sup>[10]</sup>对光周期钟作了详细的论述,涉及光周期反应类型、遗传特性、滞育诱因及季节格局等。到目前为止,蝴蝶光周期钟的研究一直主要集中在滞育机制的研究上,不同光周期对生长发育的影响缺乏报道,这方面的工作有待加强。由于本研究中只涉及 3 个温度,并且 30 时,幼虫的死亡率较高,已不适于美凤蝶的生长。因此对实验结果有一定影响,有待今后进一步实验,对研究结果进行补充和修正。

#### 参考文献:

- [1] 吕龙石,金大勇,朴锦. 温度与光周期对麝凤蝶生长发育的影响[J]. 昆虫知识, 2004, 41(6): 572~574
- [2] 顾茂彬,陈佩珍. 海南岛蝴蝶[M]. 北京:中国林业出版社, 1997, 45
- [3] 周尧. 中国蝴蝶分类与鉴定[M]. 郑州:河南科技出版社, 1998: 8
- [4] 武春生. 中国动物志昆虫纲第 25 卷:鳞翅目凤蝶科[M]. 北京:科学出版社, 2001: 135~136
- [5] 易传辉,陈晓鸣,史军义,等. 光周期和温度对美凤蝶滞育诱导的影响[J]. 林业科学研究, 2007, 20(2): 188~192
- [6] Yoshio M, Ishii M. Rearing larvae of the great momon butterfly, *Papilio mannon* L. (Lepidoptera: Papilionidae) on artificial diet[J]. Jap J Ent, 1996, 64: 30~34
- [7] Yoshio M, Ishii M. Geographical variation of pupal diapause in the great momon butterfly *Papilio mannon* L. (Lepidoptera: Papilionidae) in western Japan[J]. App 1 Ent Zool, 1998, 33: 281~288
- [8] Yoshio M, Ishii M. Photoperiod effects on pupal development in two tropical *Papilio butterflies* (Lepidoptera: Papilionidae) [J]. Trans Lepid Soc Japan, 2004, 55(4): 275~279
- [9] Ishii M. Diapause potential in tropical papilionids (Lepidoptera: Papilionidae) [J]. Appl Ent Zool, 1987, 22: 114~115
- [10] Saunders D S, Steel C G H, Vafopoulou X, et al. Insect Clocks (3rd ed) [M]. Oxford Elsevier, 2002: 1~551