



陈祯, 周成理. 光周期和温度对虎斑蝶卵、幼虫及蛹存活的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (4): 938-943.

光周期和温度对虎斑蝶卵、幼虫及蛹存活的影响

陈 祯¹, 周成理^{2*}

(1. 玉溪师范学院化学生物与环境学院, 云南玉溪 653100; 2. 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 昆明 650000)

摘要: 通过在人工气候箱内设定不同光周期和温度梯度单虫饲养观察个体发育史, 研究了光周期和温度对虎斑蝶 *Danaus genutia* 幼期存活的影响, 研究结果可为该高观赏价值蝶种的规模化养殖提供依据。结果表明, 在长光照 (L:D=15:9) 条件下, 17.5、20.0、22.5、25.0、27.5、30.0℃时虎斑蝶卵的孵化率分别为 63.72%、71.67%、65.75%、75.00%、67.12%、59.56%, 幼虫的存活率分别为 85.67%、85.96%、91.19%、89.20%、80.86%、68.78%, 蛹的存活率分别为 82.76%、100.00%、96.00%、97.06%、100.00%、100.00%; 在短光照 (L:D=9:15) 条件下, 17.5、20.0、25.0、30.0℃时虎斑蝶卵的孵化率分别为 86.36%、67.06%、75.00%、77.50%, 幼虫的存活率分别为 85.05%、84.59%、85.74%、80.78%, 蛹的存活率分别为 93.30%、94.12%、100.00%、100.00%。结果表明, 17.5℃和 30.0℃均不利于虎斑蝶幼期的存活, 20.0~27.5℃是其幼期生长发育适宜的温度范围。长光照利于幼虫的存活, 短光照利于卵的孵化和蛹的羽化; 在 17.5~30.0℃内, 较高的温度利于蛹的羽化, 而较低的温度利于卵的孵化和幼虫的存活; 温度对虎斑蝶卵的孵化、幼虫的存活及蛹的羽化影响大于光周期; 在养殖生产上, 建议将幼期养殖温度控制在 20.0~27.5℃, 幼虫期饲养在长光照下为宜, 卵和蛹期置于短光照下为宜。

关键词: 虎斑蝶; 孵化率; 存活率; 羽化率; 人工繁育

中图分类号: Q965; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2020) 04-0938-06

Effects of photoperiod and temperature on the survival of immature stages of *Danaus genutia*

CHEN Zhen¹, ZHOU Cheng-Li^{2*} (1. School of Chemical Biology and Environment, Yuxi Normal University, Yuxi 653100, Yunnan Province, China; 2. Research Institute of Resource Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650000, China)

Abstract: To investigate the effects of photoperiod and temperature on the survival of immature stages of the common tiger butterfly (*Danaus genutia*), which was collected from Yuanjiang county, Yunnan Province. The life-cycle stages and survival of each stage of *D. genutia* were observed by individually rearing eggs, larvae and pupae under different photoperiods and temperatures in climatic chambers. Survival rate curves of eggs, larvae and pupae were measured by Weibull distribution function. In long-day treatment (L:D=15:9) and at different temperatures (17.5, 20.0, 22.5, 25.0, 27.5, 30.0℃), the hatching rates of egg stage were 63.72%, 71.67%, 65.75%, 75.00%, 67.12% and 59.56%, respectively; The survival rates of larva stage were 85.67%, 85.96%, 91.19%, 89.20%, 80.86% and 68.78%, respectively; The survival rates of pupa stage were 82.76%, 100.00%, 96.00%, 97.06%,

基金项目: 云南省地方本科高校基础研究联合专项面上项目 (2017FH001-036)

作者简介: 陈祯, 男, 1983年生, 甘肃陇西人, 博士, 讲师, 主要从事昆虫生态学、资源昆虫以及害虫综合治理研究, E-mail: cz@yxnu.net

* 通信作者 Author for correspondence: 周成理, 博士, 副研究员, 主要研究方向为植物保护, E-mail: buttzhou@163.com

收稿日期 Received: 2019-05-21; 接受日期 Accepted: 2019-07-24

100.00% and 100.00%, respectively. In short-day treatment (L:D = 9:15) and at different temperatures (17.5, 20.0, 25.0, 30.0°C), the hatching rates of egg stage were 86.36%, 67.06%, 75.00%, and 77.50% respectively; The survival rates of larva stage were 85.05%, 84.59%, 85.74% and 80.78%, respectively; The eclosion rates of pupa stage were 93.30%, 94.12%, 100.00% and 100.00%, respectively. These results suggested that temperature had more significant influence on the survival of immature stages of *D. genutia* compared with photoperiod; The proper temperature range which benefitting to the survival of the butterfly was 20.0 ~ 27.5°C, long-day treatment (L:D = 15:9) benefit to the survival of larvae, and short-day treatment (L:D = 9:15) benefit to the survival of eggs and pupae.

Key words: *Danaus genutia*; hatching rate; survival rate; eclosion rate; artificial breeding

近些年来, 过度采捕、栖息地遭破坏和大量使用化学杀虫剂造成野生蝴蝶种群数量急剧下降 (Bonebrake *et al.*, 2010)。野生蝴蝶资源在数量和质量上都无法满足蝴蝶生态观赏、商业放飞及工艺品制作等行业对蝴蝶日益增加的需求, 开展人工养殖是满足国内市场需求的首要途径。此外, 将人工繁育个体释放到自然生境也是恢复濒危野生种群的有效手段之一 (Crone *et al.*, 2007)。

虎斑蝶 *Danaus genutia* 隶属蛱蝶科 Nymphalidae 斑蝶亚科 Danainae 斑蝶属 *Danaus*, 国内分布于河南、四川、云南、西藏、江西、浙江、福建、广东、广西、台湾和海南等地, 国外分布于中南半岛、西太平洋诸岛和澳大利亚 (周尧, 1998)。成虫中大体型, 访花, 翅膀正面色彩鲜艳, 飞行缓慢, 姿态优美, 是生态观赏、喜庆放飞和工艺制作的优良蝶种, 无危害经济和园林植物记录 (陈晓鸣等, 2008)。在云南, 该蝶种以成虫越冬, 马缨丹 *Lantana camara* 和 马利筋 *Asclepias curassavica* 是云南野外成虫最常访的蜜源植物 (陈祯, 2017)。目前, 该种蝴蝶在国内蝴蝶观赏园及庆典蝴蝶放飞中被广泛利用, 但其种源均来自于野外采捕, 这也造成了野生种群数量急剧下降, 有濒临灭绝的风险 (陈祯, 2018)。本文作者初步估算该种蝴蝶在我国南方低海拔地区可年养殖 5 代以上, 而在热带和部分南亚热带河谷, 年养殖更可高达 10 代以上 (陈祯等, 2018)。这种生物学特性赋予了虎斑蝶巨大的养殖利用潜力。

光温是影响昆虫生长发育的重要因子, 也是资源昆虫工厂化繁育的关键因素 (Saunders, 1981; Malcolm *et al.*, 1987)。迄今为止, 光周期与温度协同影响蝴蝶生长发育及存活的研究鲜见报道, 国内仅见对枯叶蛱蝶 *Kallima inachus*、美凤蝶 *Papilio memnon* 及麝凤蝶 *Byasa alcinous* 的报道 (吕

龙石等, 2004; 易传辉等, 2007, 2008)。有关虎斑蝶的研究国内外主要集中于其不同虫态形态特征、幼期发育历期、生活史和生殖力、寄主范围、幼虫及成虫的行为习性等方面 (Meyer, 1995; Bhuyan *et al.*, 1999; Igarashi and Fukuda, 2000; Robinson *et al.*, 2001; 陈晓鸣等, 2008; Atluri *et al.*, 2010; 陈祯等, 2017, 2018)。

为进一步开发蝴蝶资源, 促进蝴蝶产业的快速健康发展和减少对野生资源的过度采捕, 有必要对光温等环境因素对虎斑蝶生长发育及存活等生物学特性影响进行深入研究。本文报道光周期和温度对虎斑蝶卵孵化率、幼虫存活率及蛹羽化率的影响。

1 材料与方法

1.1 实验材料

虎斑蝶: 成虫种源采自云南省元江县野外, 将采回的野生雌雄成虫置于云南省昆明市盘龙区中国林业科学研究院资源昆虫研究所蝴蝶试验大棚内放养, 建立实验种群。采集新鲜产的卵供实验用。

饲养幼虫的主要寄主植物: 青羊参 *Cynanchum otophyllum* Schneid (萝藦科 Asclepiadaceae)。

成虫补充营养: 10% 蜜糖水。

1.2 试验方法

在人工气候箱 (型号: SPX-400; 上海博讯医疗设备厂) 内设置 2 个光照处理 [长光照 (L:D = 15:9) 和短光照 (L:D = 9:15), 光照强度均恒定为 10 000 lux, 依据 Goehring 和 Oberhauser (2002) 对虎斑蝶近缘种君主斑蝶 *Danaus plexippus* 相关研究中的光周期, 并结合元江冬、夏季最短和最长光照时数考虑]。长光照下设 7 个温度梯

度: 17.5、20.0、22.5、25.0、27.5、30.0 和 35.0℃; 短光照下设 5 个温度梯度: 17.5、20.0、25.0、30.0 和 35.0℃。以上处理组的湿度均恒定为 70%。

由于卵的孵化率和初龄幼虫成活率存在差异, 各处理中使用了不同初始卵量, 是为了保证每个处理中至少有 40 头幼虫存活至 2 龄初期。故每个处理自 60~100 粒新产卵开始, 幼虫孵化后以保鲜枝叶单虫饲养, 直至化蛹、羽化。1~3 龄期幼虫每 2 天更换一次食料, 此后每天更换食料。每天记录卵孵化数、不同龄期幼虫存活数及蛹羽化数, 计算各虫态的存活率, 制作各种温度条件下的存活率曲线。

1.3 数据分析

利用 SPSS 19.0 对数据进行方差分析, 平均数进行 Duncan's 检验, 显著性水平 $\alpha = 0.05$; 多元相关分析采用偏相关分析。虎斑蝶幼期存活率曲线的拟合参照 Pinder 等 (1978) 和黄明度等 (1987), 以 Weibull 分布函数作为拟合幼期存活率曲线的数学模型, 利用 SPSS 19.0 对数据进行非线性回归分析。

2 结果与分析

2.1 光周期和温度对卵孵化率的影响

不同温度条件下, 长光照组虎斑蝶卵的孵化率为 59.56%~75.00% ($67.14\% \pm 5.54\%$), 短光照组为 67.06%~86.36% ($76.48\% \pm 7.95\%$) (表 1)。在长、短光照处理中, 当温度设定为 35℃时, 卵均不能孵化。偏相关分析表明, 在固定温度条件下, 光照与卵的孵化率呈不显著负相关 ($r = -0.007, P = 0.982$); 在固定光照条件下, 温度与卵的孵化率亦呈不显著负相关 ($r = -0.116, P = 0.705$)。

2.2 光周期和温度对幼虫存活率的影响

不同温度条件下, 长光照组虎斑蝶幼虫的存活率为 71.28%~94.39% ($84.28\% \pm 10.52\%$), 其 1 龄幼虫的存活率为 55.26%~94.67% ($71.28\% \pm 15.86\%$), 2 龄为 54.00%~90.24% ($74.71\% \pm 13.74\%$), 3 龄为 66.67%~97.37% ($89.50\% \pm 11.47\%$), 4 龄为 86.49%~96.97% ($91.53\% \pm 4.19\%$), 5 龄为 90.62%~100.00%

($94.39\% \pm 3.36\%$); 短光照组虎斑蝶幼虫的存活率为 63.58%~100.00% ($84.04\% \pm 16.38\%$), 其 1 龄幼虫的存活率为 55.84%~73.68% ($63.58\% \pm 7.66\%$), 2 龄为 62.96%~81.40% ($71.15\% \pm 8.13\%$), 3 龄为 66.67%~100.00% ($86.31\% \pm 14.06\%$), 4 龄为 100.00% ($100.00\% \pm 0.00\%$), 5 龄为 96.67%~100.00% ($99.17\% \pm 1.67\%$) (表 2)。无论是在长光照还是短光照条件下, 不同温度下不同龄期的幼虫存活率为: 5 龄>4 龄>3 龄>2 龄>1 龄。偏相关分析表明, 在固定温度条件下, 光照与幼虫的存活率呈不显著正相关 ($r = 0.205, P = 0.597$); 在固定光照条件下, 温度与幼虫的存活率呈不显著负相关 ($r = -0.531, P = 0.142$)。

表 1 不同光周期和温度下虎斑蝶卵的孵化率

Table 1 Hatching rate of the egg of *Danaus genutia* under different photoperiods and temperatures

光周期 Photoperiod	温度 (℃) Temperature	孵化率 (%) Hatching rate	样本量 (粒) Sample size
长光照 (15:9)	17.5	63.72	113
	20.0	71.67	120
	22.5	65.75	73
	25.0	75.00	100
	27.5	67.12	146
	30.0	59.56	136
	35.0	0.00	131
短光照 (9:15)	17.5	86.36	88
	20.0	67.06	85
	25.0	75.00	108
	30.0	77.50	120
	35.0	0.00	56

2.3 光周期和温度对蛹羽化率的影响

不同温度条件下, 长光照组虎斑蝶蛹的羽化率为 82.76%~100.00% ($95.97\% \pm 6.70\%$), 短光照组为 93.30%~100.00% ($96.86\% \pm 3.65\%$) (表 3)。偏相关分析表明, 在固定温度条件下, 光照与蛹羽化率呈不显著负相关 ($r = -0.176, P = 0.650$); 在固定光照条件下, 温度与蛹羽化率呈显著正相关 ($r = 0.684, P = 0.042$)。

表 2 不同光周期和温度下虎斑蝶幼虫的存活率

Table 2 Survival rate of the larvae of *Danaus genutia* under different photoperiods and temperatures

处理 Treatments		存活率 (%) Survival rate				
光周期 Photoperiod	温度 (°C) Temperature	1 龄幼虫 1 st instar	2 龄幼虫 2 nd instar	3 龄幼虫 3 rd instar	4 龄幼虫 4 th instar	5 龄幼虫 5 th instar
长光照 (15:9)	17.5	72.22 (72)	81.63 (49)	97.37 (38)	86.49 (37)	90.62 (32)
	20.0	59.42 (69)	85.37 (41)	94.29 (35)	96.97 (33)	93.75 (32)
	22.5	85.42 (48)	90.24 (41)	90.91 (33)	93.10 (29)	96.30 (27)
	25.0	94.67 (75)	72.73 (66)	91.49 (47)	95.24 (42)	91.89 (37)
	27.5	55.26 (76)	64.29 (42)	96.30 (27)	88.46 (26)	100.00 (23)
短光照 (9:15)	17.5	73.68 (76)	66.67 (54)	88.24 (34)	100.00 (30)	96.67 (30)
	20.0	60.00 (45)	62.96 (27)	100.00 (17)	100.00 (17)	100.00 (17)
	25.0	64.79 (71)	73.58 (54)	90.32 (31)	100.00 (28)	100.00 (28)
	30.0	55.84 (77)	81.40 (43)	66.67 (33)	100.00 (22)	100.00 (22)

注: 括号内数字为样本量。Note: Number in the bracket is the sample size.

表 3 不同光周期和温度下虎斑蝶蛹的羽化率

Table 3 Eclosion rate of the pupae of *Danaus genutia* under different photoperiods and temperatures

光周期 Photoperiod	温度 (°C) Temperature	存活率 (%) Survival rate	样本量 (头) Sample size
长光照 (15:9)	17.5	82.76	29
	20.0	100.00	30
	22.5	96.00	25
	25.0	97.06	34
	27.5	100.00	23
短光照 (9:15)	30.0	100.00	15
	17.5	93.30	29
	20.0	94.12	17
	25.0	100.00	28
	30.0	100.00	22

2.4 不同光周期和温度下虎斑蝶幼虫存活率的拟合

采用 Weibull 分布函数拟合不同温度和光周期下虎斑蝶幼虫的存活率 (表 4; 图 1 ~ 2)。从 Weibull 分布函数拟合幼虫存活率曲线来看, 不同光温条件下的拟合效果均较理想。各光温条件下的 c 值均小于 1, 说明其幼虫存活率曲线均属于

Ⅲ型, 即死亡率为时间的降函数。从总体变化趋势上看, 幼虫存活率曲线随温度升高由Ⅲ型向Ⅱ型靠近, 即死亡率接近一常数。不同光温下 b 值存在差异, 长光照下, 22.5°C 下的 b 值最大, 为 5.538, 30°C 下的 b 值最小, 为 2.019; 短光照下, 17.5°C 下的 b 值最大, 为 4.658, 30°C 下的 b 值最小, 为 2.658。这表明, 在长光照下, 22.5°C 下幼虫的存活率最高; 短光照下, 17.5°C 下的存活率最高; 30°C 下幼虫存活率在长、短光照下均最低。

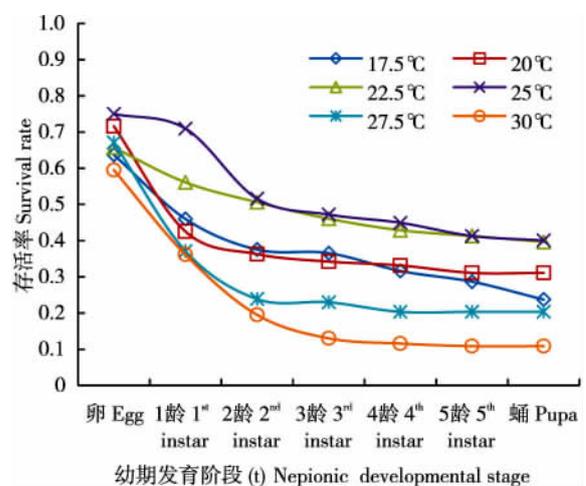


图 1 不同恒温下幼虫的存活率曲线 (长光照)
Fig. 1 Survival rate curve of the immature stages of *Danaus genutia* under different temperatures and long-day treatment

表 4 Weibull 分布函数拟合不同光温条件下虎斑蝶幼期存活率曲线参数

Table 4 Relevant parameters of survival rate of the immature stages of *Danaus genutia* under different photoperiods and temperatures by Weibull distribution function

光周期 Photoperiod	温度 (°C) Temperature	Weibull 分布函数 Weibull function	C 值 95% 置信区间 Confidence interval	R^2
长光照 (15:9)	17.5	$S [t] = \exp [(- t / 3.287) ^ { 0.598 }]$	[0.481, 0.715]	0.977
	20.0	$S [t] = \exp [(- t / 2.957) ^ { 0.605 }]$	[0.176, 1.034]	0.765
	22.5	$S [t] = \exp [(- t / 5.538) ^ { 0.525 }]$	[0.439, 0.612]	0.983
	25.0	$S [t] = \exp [(- t / 5.526) ^ { 0.772 }]$	[0.504, 1.041]	0.938
	27.5	$S [t] = \exp [(- t / 2.085) ^ { 0.771 }]$	[0.325, 1.218]	0.838
	30.0	$S [t] = \exp [(- t / 2.019) ^ { 0.853 }]$	[0.623, 1.083]	0.962
长光照 (15:9)	17.5	$S [t] = \exp [(- t / 4.658) ^ { 0.875 }]$	[0.420, 1.329]	0.885
	20.0	$S [t] = \exp [(- t / 2.265) ^ { 0.677 }]$	[0.247, 1.107]	0.802
	25.0	$S [t] = \exp [(- t / 3.357) ^ { 0.702 }]$	[0.336, 1.067]	0.866
	30.0	$S [t] = \exp [(- t / 2.658) ^ { 0.896 }]$	[0.395, 1.396]	0.863

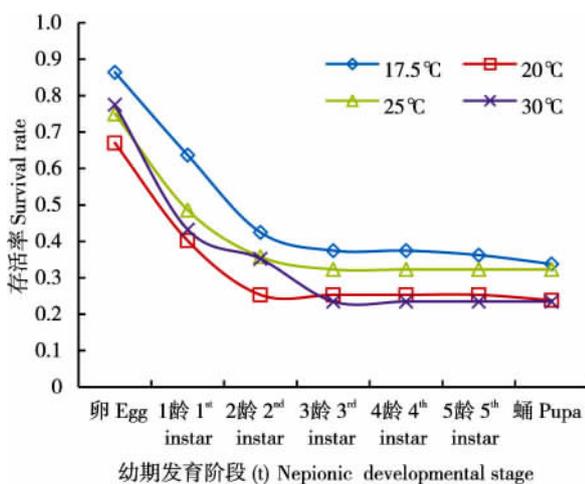


图 2 不同恒温下幼期的存活率曲线 (短光照)

Fig. 2 Survival rate curve of the immature stages of *Danaus genutia* under different temperatures and short-day treatment

3 结论与讨论

光周期、温度是影响昆虫生长发育的重要因子,也是蝶类滞育发生与解除,以及工厂化繁育的关键因素 (Saunders, 1981; Malcolm *et al.*, 1987)。本研究探讨了光周期和温度对虎斑蝶卵、幼虫及蛹存活的影响,初步确定了其适宜的温度范围,为该重要观赏蝶种的人工繁育提供了重要参数。结果表明,在 17.5 ~ 30.0°C 内,虎斑蝶卵、幼虫和蛹均能正常发育。但总体来看,在 17.5°C

和 30.0°C 下,虎斑蝶幼虫的存活率较 20.0 ~ 27.5°C 下明显降低,表明 20.0 ~ 27.5°C 是虎斑蝶幼期生长发育较适宜的温度范围。当温度为 15.0°C 和 35.0°C 时,卵均不能孵化;温度是影响幼期存活的主导因素。温度不仅影响成活率,也影响幼期发育速率。陈祯等 (2018) 对虎斑蝶的研究表明,在 17.5 ~ 30.0°C 内,随着温度上升,各虫态的生长发育加快,发育历期显著缩短。Goehring 和 Oberhauser (2002) 认为,30.0°C 以上的高温对虎斑蝶近缘种君主斑蝶 *Danaus plexippus* 幼虫可能有亚致死作用,并大幅延长了其发育历期。吕龙石等 (2004) 对麝凤蝶的研究表明,30°C 以上的温度不利于幼虫的生长与化蛹,34°C 已经超出卵孵化与越冬蛹羽化的上限温度。易传辉等 (2007, 2008) 对美凤蝶和枯叶蛱蝶的研究表明,30.0°C 时美凤蝶和枯叶蛱蝶幼虫的存活率均较 20°C 和 25°C 显著下降,表明 30°C 时可能已对这两种蝴蝶幼虫生长发育不利。本研究还发现,无论在何种光温组合下,随着龄期的增大,虎斑蝶幼虫的存活率明显增加,3 ~ 5 龄幼虫的存活率显著高于 1 ~ 2 龄幼虫 ($P < 0.05$)。这表明随着龄期的增大,幼虫对外界不利因素的抵抗能力也在增强。因此,在养殖生产上,要特别加强对 1 ~ 2 龄幼虫的管护。

多元相关分析表明,长光照更利于虎斑蝶幼虫的存活,短光照则更利于卵的孵化和蛹的羽化;

在 17.5 ~ 30.0℃ 内, 较高的温度更利于虎斑蝶蛹的羽化, 而较低的温度则更利于卵的孵化和幼虫的存活。值得注意的是, 光周期与虎斑蝶幼期各虫态存活率之间的相关性不显著, 温度与羽化率之间的相关性显著, 与卵的孵化率和幼虫的存活率之间的相关性不显著。但总体来看, 温度对虎斑蝶卵的孵化、幼虫的存活及蛹的羽化影响大于光周期。在其他蝶类中, 易传辉等 (2007, 2008) 发现温度对美凤蝶和枯叶蛱蝶幼虫存活的影响显著大于光周期。考虑到虎斑蝶的人工饲养既要降低死亡率, 又要缩短饲养周期, 结合本项研究建议卵置于 25.0 ~ 27.5℃ 为宜, 1 龄幼虫饲养以 22.5 ~ 27.5℃ 为宜, 2 龄幼虫饲养以 22.5 ~ 25.0℃ 为宜, 3 龄幼虫饲养以 20.0 ~ 25.0℃ 为宜, 4 龄幼虫饲养以 25.0 ~ 27.5℃ 为宜, 5 龄幼虫饲养以 22.5 ~ 25.0℃ 为宜, 蛹期置于 27.5 ~ 30.0℃ 为宜。对于光照的选择, 建议幼虫期饲养在长光照下为宜, 卵和蛹期置于短光照下为宜。

致谢: 西南林业大学保护生物学学院曹永同学和蒋剑同学参与了部分实验观察, 昆明中林观赏昆虫科技开发有限公司赵灿繁协助采集实验虎斑蝶种源。在此一并致谢!

参考文献 (References)

- Atluri JB, Rayalu MB, Deepika DS. Life history and larval performance of the common tiger butterfly, *Danaus genutia* Cramer (Lepidoptera: Rhopalocera: Danaidae) [J]. *The Bioscan*, 2010, 5 (3): 511–515.
- Bhuyan M, Katak D, Deka M, et al. Nectar host plant selection and floral probing by the India butterfly *Danaus genutia* (Nymphalidae) [J]. *Journal of Research on the Lepidoptera*, 1999, 38 (1): 79–84.
- Bonebrake TC, Ponisio LC, Boggs CL, et al. More than just indicators: A review of tropical butterfly ecology and conservation [J]. *Biological Conservation*, 2010, 143 (8): 1831–1841.
- Chen XM, Zhou CL, Shi JY, et al. Ornamental Butterflies in China [M]. Beijing: China Forestry Publishing House Press, 2008: 207–209. [陈晓鸣, 周成理, 史军义, 等. 中国观赏蝴蝶 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2008: 207–209]
- Chen Z, Cao Y, Zhou YQ, et al. Biological characteristics of experimental population of the common tiger butterfly, *Danaus genutia* (Lepidoptera: Nymphalidae) [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2017, 54 (2): 279–291. [陈祯, 曹永, 周元清, 等. 虎斑蝶实验种群生物学特征研究 [J]. 应用昆虫学报, 2017, 54 (2): 279–291]
- Chen Z, Zhou CL, Chen XM, et al. Effects of temperature and photoperiod on the development of immature stages of the common tiger butterfly, *Danaus genutia* [J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 2018, 37 (4): 420–425. [陈祯, 周成理, 陈晓鸣, 等. 温度和光周期对虎斑蝶幼期生长发育的影响 [J]. 四川动物, 2018, 37 (4): 420–425]
- Chou I. Monographia Rhopalocerorum Sinensium (Revised Edition) [M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1998: 382–383. [周尧. 中国蝶类志 (修订版) [M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1998: 382–383]
- Crone EE, Pickering D, Schultz CB. Can captive rearing promote recovery of endangered butterflies? An assessment in the face of uncertainty [J]. *Biological Conservation*, 2007, 139 (1/2): 103–112.
- Goehring L, Oberhauser KS. Effects of photoperiod, temperature, and host plant age on induction of reproductive diapause and development time in *Danaus plexippus* [J]. *Ecological Entomology*, 2002, 27 (6): 674–685.
- Huang MD, Tan WJ. Introduce to Weibull distribution as a model of insect survival curve [J]. *Natural Enemies of Insects*, 1987, 9 (1): 50–53. [黄明度, 谭文捷. 介绍威布尔分布作为模拟昆虫存活率曲线的模型 [J]. 昆虫天敌, 1987, 9 (1): 50–53]
- Igarashi S, Fukuda H. The Life Histories of Asian Butterflies [M]. Tokyo: Tokai University Press, 2000: 244–245.
- Lu LS, Jin DY, Piao J. The growth and development of *Byasa alcinous* in different temperature and photoperiod [J]. *Entomological Knowledge*, 2004, 41 (6): 572–574. [吕龙石, 金大勇, 朴锦. 温度和光周期对麝凤蝶生长发育的影响 [J]. 昆虫知识, 2004, 41 (6): 572–574]
- Malcolm SB, Cockrell BJ, Brower LP. Monarch butterfly voltinism: Effects of temperature constraints at different latitudes [J]. *Oikos*, 1987, 49: 77–82.
- Meyer CE. Notes on the life history of *Danaus genutia alexis* (Waterhouse and Lyell) (Lepidoptera: Nymphalidae) [J]. *Australian Entomologist*, 1995, 22 (4): 137–139.
- Pinder JE, Wiener JG, Smith MH. The Weibull distribution: A new method of summarizing survivorship date [J]. *Ecology*, 1978, 59 (5): 175–179.
- Robinson GS, Ackery PR, Kitching IJ, et al. Hostplants of the Moth and Butterfly Caterpillars of the Oriental Region [M]. Lond: The Natural History Museum, 2001.
- Saunders DS. Insect photoperiodism – the clock and the counter: A review [J]. *Physiological Entomology*, 1981, 6 (1): 99–116.
- Yi CH, Chen XM, Shi JY, et al. Influence of the photoperiod and temperature on larval developmental periods of the great mormon butterfly *Papilio memnon* Linnaeus [J]. *Forest Research*, 2007, 20 (4): 547–550. [易传辉, 陈晓鸣, 史军义, 等. 光周期和温度对美凤蝶幼虫发育历期的影响 [J]. 林业科学研究, 2007, 20 (4): 547–550]
- Yi CH, Chen XM, Shi JY, et al. The influence of the photoperiod and temperature on larval development of *Kallima inachus* [J]. *Entomological Knowledge*, 2008, 45 (4): 597–599. [易传辉, 陈晓鸣, 史军义, 等. 光周期和温度对枯叶蛱蝶幼虫生长发育的影响 [J]. 昆虫知识, 2008, 45 (4): 597–599]