不同温度下褐带卷蛾茧蜂实验种群生命表

林玉英， 金 涛， 金启安， 温海波， 彭正强*

（中国热带农业科学院环境与植物保护研究所，农业部热带农林有害生物入侵监测与控制重点实验室，海口 571101）

摘要 为了探索温度对褐带卷蛾茧蜂 *Bracon adoxophyesi* 发育和繁殖的影响，研究了该蜂在 6 种温度下的实验种群生命表。结果表明，褐带卷蛾茧蜂各虫态发育历期随温度升高而缩短，在 36℃下产卵前期略高于 32℃下的产卵前期，说明温度过高或者过低均不利于卵巢发育。随温度降低，其世代历期显著延长，说明低温会显著抑制该蜂发育。各虫态的发育速率与温度的关系符合 Logistic 模型。该寄生蜂产卵前期的发育起点温度高于其他阶段的发育起点温度。在 24℃下单雌产卵量最高，为 619.86 粒，16℃和 36℃下的产卵量最低，分别为 139.60 粒和 154.43 粒。在 24、28 和 32℃时，其种群趋势指数分别为 101.78、74.25 和 73.41，在 36℃和 16℃时，其种群趋势指数较低，说明温度过高或者过低均不利于其种群繁殖，且低温的影响大于高温。在 24～32℃下，褐带卷蛾茧蜂的种群趋势指数较高，说明 24～32℃是适宜该寄生蜂种群增长的温度范围。

关键词 褐带卷蛾茧蜂； 实验种群； 发育起点温度； 有效积温； 生命表

中图分类号： Q968 **文献标识码：** A **DOI：** 10.16688/j.zwbh.2017198

Life table of the experimental population of *Bracon adoxophyesi* Minamikawa at different temperatures

LIN Yuying， JIN Tao， JIN Qi'an， WEN Haibo， PENG Zhengqiang

（*Institute of Plant and Environmental Protection*, *Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences*, *Key Laboratory for Monitoring and Control of Tropical Agricultural and Forest Invasive Alien Pests*, *Ministry of Agriculture*, *Haikou* 571101, *China*）

Abstract In order to explore the effects of temperature on the development and reproduction of *Bracon adoxophyesi* Minamikawa, the life table of the experimental population of the parasitoid at six different temperatures was studied. The results showed that the developmental duration decreased with increasing temperature, and pre-oviposition duration (0.47±0.03 d) at 36℃ was slightly longer than that (0.43±0.06 d) at 32℃, indicating that too high or too low temperatures could inhibit ovarian development. The generation time increased significantly with the decrease of temperature, indicating that low temperature significantly inhibited the development of the parasitoid. The relationship between the developmental rate of different developmental stages and temperature could be simulated by the Logistic model. The developmental threshold temperature of pre-oviposition duration was higher than those of other developmental stages. The average number of eggs laid per female at 24℃ was the most (619.86 eggs), and those at 16℃ and 36℃ were the least (139.60 and 154.43 eggs, respectively). The population trend indexes at 24, 28, and 32℃ were 101.78, 74.25, and 73.41, respectively, and those at 36℃ and 16℃ were low, showing that too high or too low temperatures were not suitable for the population growth, and low temperatures had stronger effects than high temperatures. The population trend indexes at 24－32℃ were higher, indicating that 24－32℃ was the most suitable temperature range for population growth of this parasitoid.

Key words *Bracon adoxophyesi*; experimental population; developmental threshold temperature; effective accumulated temperature; life table

椰子木蛾 *Opisina arenosella* Walker 又名椰子 黑头履带虫、食叶履带虫、椰蛀蛾和椰子织蛾，属鳞

收稿日期： 2017－05－27 **修订日期：** 2017－07－18
基金项目： 中国热带农业科学院创新团队项目(1630042017012，1630042017013)；中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2017hzs1J012)；国家重点研发计划项目(2016YFC1201204)；国家科技支撑计划(2015BAD08B03)
* 通信作者 E-mail：lypzhq@163.com

翅目 Lepidoptera 木蛾科 Xyloryctidae[1]，是棕榈科植物上的重要害虫，主要为害椰子、蒲葵、中东海枣、槟榔、大王棕等棕榈科植物[2]。2013 年 8 月，海南省万宁市首次发现了椰子木蛾疫情。随后经调查，海南省 9 个市县、广东中山市及顺德市和广西防城港等多个地区发现椰子木蛾[3]。该有害生物已在印度、斯里兰卡、缅甸、印度尼西亚、泰国和马来西亚等东南亚国家和地区发生，并对当地棕榈科植物造成重大经济损失[4-6]。阎伟等对其进行风险性分析，结果表明椰子木蛾属高度危险性有害生物，其 R 值为 2.30[7]。入侵我国后，也引起了相关部门的高度重视，2014 年被国家林业局列入外来入侵有害生物名单。椰子等高大的棕榈科植物难以实施化学防治，该害虫幼虫在叶片背面形成粪便与丝交织的蛀道，在蛀道内潜行为害，化学防治效果也较差，此外，化学防治污染环境，易导致椰子木蛾产生抗药性[8]。因而，依据经典的生物防治理论，利用天敌防治椰子木蛾是一条有效途径。

褐带卷蛾茧蜂 *Bracon adoxophyesi* Minamikawa 属膜翅目 Hymenoptera 茧蜂科 Braconidae 茧蜂属 *Bracon*。该蜂是椰子木蛾幼虫的体外寄生蜂[9-10]，主要寄生椰子木蛾的中龄和高龄幼虫，少数也可寄生预蛹，对低龄幼虫一般不寄生，但会将其麻痹致死[11]。被该寄生蜂麻痹的椰子木蛾均会死亡。该寄生蜂产卵时先将寄主椰子木蛾麻痹，然后主要产卵于其幼虫体表，有时将少量卵产于寄主旁。褐带卷蛾茧蜂幼虫在寄主幼虫体表生活，取食寄主幼虫，成熟后，即在寄主尸体附近结茧化蛹，聚寄生[12]。褐带卷蛾茧蜂在补充营养条件下成虫期达 60 d 左右，麻痹寄主能力强，1 头雌蜂 1 d 可麻痹椰子木蛾高龄幼虫 6 头左右，雌蜂的产卵量多，发育周期短，极易于繁殖。褐带卷蛾茧蜂是椰子木蛾幼虫的本土天敌，挖掘利用本地天敌是经济有效的生物防治手段。

昆虫是变温动物，温度是影响昆虫种群生长发育、存活、繁殖、种群增长及季节动态的重要因素[13-15]。生命表在分析环境因子对昆虫种群数量的影响时被广泛应用，可为寄生蜂的规模化繁殖及生物防治提供科学依据[16]，但到目前为止国内外未见有关不同温度下褐带卷蛾茧蜂生命表的报道。该寄生蜂实验种群生命表的研究可应用于利用褐带卷蛾茧蜂对椰子木蛾的治理。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

在椰子木蛾为害高峰期，将被褐带卷蛾茧蜂寄生的椰子木蛾幼虫采回室内收集褐带卷蛾茧蜂作为蜂种种源。将褐带卷蛾茧蜂放入带袖筒的养虫笼(55 cm×55 cm×55 cm)中，温度 25℃，L//D=14 h//10 h 条件下，用 10%的蜂蜜水喂养，以米蛾幼虫作为其替代寄主饲养 10 代以上。

1.2 不同温度下褐带卷蛾茧蜂发育历期的观察

在 25℃下，选取褐带卷蛾茧蜂 12 h 内产的卵 100 粒，以椰子木蛾 7～8 龄幼虫作为寄主，置于不同温度梯度光照培养箱内，设置 6 个不同温度梯度(16、20、24、28、32、36℃)，重复 3 次，每日观察 3 次(8:00、15:00、22:00)，记载幼虫、预蛹、蛹和成虫出现的时间和进入各发育阶段虫数。

1.3 不同温度下褐带卷蛾茧蜂产卵量的观察

取 1.2 中刚羽化的褐带卷蛾茧蜂 1 雌 1 雄引入玻璃管中，置于温度设置为 16、20、24、28、32、36℃，L//D=14 h//10 h 的光照培养箱中，每日供给蘸有 20%蜂蜜水的棉花团供其补充营养，并放入 1 头椰子木蛾 7～8 龄幼虫供其寄生，重复 10 次，每日将茧蜂引入新的玻璃管中，供给蜂蜜水和椰子木蛾幼虫，直至茧蜂成虫死亡，每日记录更换下来的玻璃管上茧蜂卵的数量和椰子木蛾幼虫体表茧蜂卵的数量。

1.4 各虫态发育起点温度和有效积温的测定

在设定的 6 个恒温条件下，褐带卷蛾茧蜂均可完成生长发育，取各温度下的观察值计算不同温度下各虫态的发育历期和发育速率，利用最小二乘法计算出各虫态的发育起点温度(C)和有效积温(K)[17]。计算公式如下：

$$T = C + KV$$

$$C = \frac{\Sigma V^2 \Sigma T - \Sigma V \Sigma VT}{n\Sigma V^2 - (\Sigma V)^2}$$

$$K = \frac{n\Sigma VT - \Sigma V \Sigma T}{n\Sigma V^2 - (\Sigma V)^2}$$

式中，T 为环境温度，C 为发育起点温度，K 为有效积温，V 为发育速率(发育历期的倒数)，n 为试验温度组数。

同时用 Marquardt 法[18]拟合褐带卷蛾茧蜂各

发育阶段的发育速率与温度的关系。

1.5　组建实验种群生命表

根据不同温度下褐带卷蛾茧蜂的卵、幼虫、预蛹、蛹及成虫的存活率和成虫繁殖力资料,组建不同温度下褐带卷蛾茧蜂实验种群生命表,计算种群趋势指数 I[19-20]。

$$死亡率=\frac{一定发育期的死亡数}{进入该发育期的活虫数}\times 100\%;$$

预计下一代产虫量=该温度下存活数(雌成虫)×平均产虫量;

$$种群趋势指数:I=\frac{繁殖一代后的卵量}{当代起始卵量};$$

当 $I>1$,下代种群数量增加;当 $I<1$,下代种群数量减少。

1.6　数据处理

本试验所有数据均用 EXCEL 及 DPS 软件[21]进行处理。

2　结果与分析

2.1　不同温度下褐带卷蛾茧蜂的发育历期

褐带卷蛾茧蜂在 6 种温度下的发育历期见表 1。在 16～36℃下,褐带卷蛾茧蜂的卵期、幼虫期、预蛹期、蛹期,以及世代历期随着温度的升高,发育历期缩短;16～32℃下,产卵前期随着温度的升高而缩短,而在 36℃下产卵前期(0.47±0.03)d 略长于 32℃下的产卵前期(0.43±0.06)d,说明温度过高或过低均不利于卵巢发育。16℃和 20℃下该寄生蜂各虫态的发育历期显著长于 24～36℃下的发育历期,且 16℃和 20℃下该寄生蜂世代的发育历期(41.98±0.63)d和(26.14±0.27)d 显著长于 24～36℃下的世代发育历期(14.47±0.16)d、(9.80±0.15)d、(8.45±0.11)d 和(7.26±0.04)d;随着温度的降低,其世代历期显著增加,说明低温会显著抑制该寄生蜂的发育。

表 1　褐带卷蛾茧蜂在不同温度下的发育历期[1)]

Table 1　Durations of *Bracon adoxophyesi* at different temperatures

温度/℃ Temperature	发育历期/d Developmental periods					
	卵 Egg	幼虫 Larva	预蛹 Prepupa	蛹 Pupa	产卵前期 Pre-oviposition duration	世代历期 Generation time
16	(4.89±0.06)a	(6.45±0.25)a	(8.14±0.55)a	(18.36±0.43)a	(7.28±0.59)a	(41.98±0.63)a
20	(3.14±0.03)b	(4.17±0.07)b	(3.26±0.08)b	(12.43±0.15)b	(2.71±0.23)b	(26.14±0.27)b
24	(2.08±0.03)c	(2.25±0.08)c	(2.25±0.09)c	(6.83±0.05)c	(0.99±0.08)c	(14.47±0.16)c
28	(1.55±0.04)d	(2.12±0.08)cd	(1.20±0.06)d	(4.68±0.07)d	(0.51±0.09)c	(9.80±0.15)d
32	(1.26±0.02)e	(1.92±0.03)d	(1.04±0.02)d	(3.75±0.04)e	(0.43±0.06)c	(8.45±0.11)e
36	(1.09±0.01)e	(1.24±0.02)e	(1.02±0.02)d	(3.46±0.02)e	(0.47±0.03)c	(7.26±0.04)f

1) 表中数据为平均值±标准误,同列数据后不同的字母分别表示在 0.05 水平差异显著,采用 Tukey's HSD 检验。
Data in the table are presented as mean±SE, and those in the same column followed by different letters are significantly different at the 0.05 level by Tukey's HSD test.

根据表 1 的数据,将褐带卷蛾茧蜂在不同温度下的发育历期转换成发育速率后,采用 Logistic 模型:$Y=k/[1+EXP(a-bt)]$进行拟合,得到褐带卷蛾茧蜂发育速率与温度的关系模型(表 2)。所有方程的 P 值均达显著或极显著水平($P<0.05$ 或 $P<0.01$),表明各虫态的发育速率与温度的关系均可以用 Logistic 模型拟合。

表 2　褐带卷蛾茧蜂发育速率(Y)与温度(t)的关系模型

Table 2　Logistic model for analyzing the relationship between developmental rate (Y) of *Bracon adoxophyesi* and temperature (t)

发育阶段 Developmental stage	预测模型 Logistic model	相关系数 R	F 值 F value	P 值 P value
卵 Egg	$Y=1.115\ 4/[1+EXP(3.923\ 6-0.151\ 3t)]$	0.999 9	10 536.810 0	0.000 1
幼虫 Larva	$Y=5.890\ 3/[1+EXP(4.541\ 4-0.073\ 9t)]$	0.963 5	19.423 7	0.019 2
预蛹 Prepupa	$Y=1.051\ 9/[1+EXP(6.452\ 8-0.268\ 4t)]$	0.990 9	81.313 3	0.002 4
蛹 Pupa	$Y=0.321\ 5/[1+EXP(5.098\ 8-0.205\ 8t)]$	0.998 2	416.176 5	0.000 2
产卵前期 Pre-oviposition	$Y=2.273\ 5/[1+EXP(10.701\ 3-0.442\ 0t)]$	0.994 3	131.261 0	0.001 2
世代 Generation time	$Y=0.150\ 3/[1+EXP(5.037\ 7-0.203\ 2t)]$	0.998 0	382.892 3	0.000 2

2.2　褐带卷蛾茧蜂的发育起点温度和有效积温

根据不同温度下褐带卷蛾茧蜂各虫态的发育历期,计算得出各虫态的发育起点温度和有效积温(表 3)。结果表明,褐带卷蛾茧蜂卵的发育起点温度为

(10.83±0.18)℃,有效积温为(27.09±0.30)日·度;幼虫的发育起点温度为(12.21±1.29)℃,有效积温为(31.37±1.21)日·度;预蛹的发育起点温度为(13.89±1.03)℃,有效积温为(19.9±1.10)日·度;蛹的发育起点温度为(12.65±0.53)℃,有效积温为(76.24±1.98)日·度;产卵前期的发育起点温度为(16.09±1.39)℃,有效积温为(7.5±0.68)日·度;世代的发育起点温度为(12.64±0.41)℃,有效积温为(163.76±2.47)日·度。该寄生蜂产卵前期的发育起点温度高于其他阶段的发育起点温度。

表 3 褐带卷蛾茧蜂各虫态的发育起点温度和有效积温

Table 3 Developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of *Bracon adoxophyesi* at different temperatures

发育阶段 Developmental stage	发育起点温度/℃ Developmental threshold temperature	有效积温/日·度 Effective accumulated temperature
卵期 Egg	10.83±0.18	27.09±0.30
幼虫期 Larva	12.21±1.29	31.37±1.21
预蛹期 Prepupa	13.89±1.03	19.90±1.10
蛹期 Pupa	12.65±0.53	76.24±1.98
产卵前期 Pre-oviposition	16.09±1.39	7.50±0.68
世代 Generation time	12.64±0.41	163.76±2.47

2.3 不同温度下褐带卷蛾茧蜂实验种群生命表

根据不同温度下褐带卷蛾茧蜂各发育阶段的存活率、雌性比例和平均每雌产卵量数据,组建了褐带卷蛾茧蜂的实验种群生命表(表 4)。表中起始卵数以 100 粒计,各虫态死亡率、平均每雌产卵量由实际观察值计算得出。

在 16～36℃,褐带卷蛾茧蜂卵的存活率随着温度的升高而升高。16℃下卵、幼虫和预蛹的死亡率高,说明该寄生蜂不适应低温的环境。28℃时褐带卷蛾茧蜂的世代存活率最高,为 73.33%;其次为 24℃(59.70%)、32℃(55.24%)、36℃(54.27%);20℃和 16℃时的世代存活率最低,分别为 24.44%和 13.86%。16、20、24、28、32、36℃下,每雌平均产卵量分别为 139.60、398.80、619.86、345.50、335.20、154.43 粒,说明在 24℃下褐带卷蛾茧蜂雌蜂的产卵量最高;其次是 20、28、32、16℃, 36℃下的产卵量最低,约为 24℃时产卵量的 1/4。

种群趋势指数(I)均大于 1,说明褐带卷蛾茧蜂种群在 16～36℃温度范围内处于增长趋势。种群趋势指数从高到低为 24℃>28℃>32℃>20℃>36℃>16℃。在 24、28 和 32℃时,其种群趋势指数分别为 101.78、74.25 和 73.41,说明褐带卷蛾茧蜂在较高的温度下种群增长较快。在 36℃时,其种群趋势指数为 27.94,种群的增长速度慢,在 16℃时,其种群趋势指数为 5.53,种群增长速度很慢。24～32℃褐带卷蛾茧蜂的种群趋势指数较高,说明该温度范围是其发育和繁殖的适温范围,温度过高或者过低均不利于其种群繁殖,且低温的影响大于高温。

表 4 不同温度下褐带卷蛾茧蜂实验种群生命表

Table 4 The experimental population life table of *Bracon adoxophyesi* at different temperatures

发育阶段 Developmental stage	进入各发育期虫数 Number of individuals at the beginning of different stages					
	16℃	20℃	24℃	28℃	32℃	36℃
卵 Egg	100	100	100	100	100	100
卵死亡率/% Mortality of egg	31.68	27.48	22.39	16.67	18.10	11.56
卵死亡数 Number of dead eggs	31.68	27.48	22.39	16.67	18.10	11.56
幼虫 Larva	68.32	72.52	77.61	83.33	81.90	88.44
幼虫死亡率/% Mortality of larva	62.32	62.20	11.53	4.00	12.78	28.98
幼虫死亡数 Number of dead larvae	42.58	45.11	8.95	3.33	10.47	25.63
预蛹 Prepupa	25.74	27.41	68.66	80.00	71.43	62.81
预蛹死亡率/% Mortality of prepupa	34.62	2.70	2.18	4.16	5.33	4.79
预蛹死亡数 Number of dead prepupae	8.91	0.74	1.50	3.33	3.81	3.01
蛹 Pupa	16.83	26.67	67.16	76.67	67.62	59.80
蛹死亡率/% Mortality of pupa	17.65	8.36	11.11	4.36	18.31	9.25
蛹死亡数 Number of dead pupae	2.97	2.23	7.46	3.34	12.38	5.53
羽化成虫数 Number of emerged adults	13.86	24.44	59.70	73.33	55.24	54.27
雌虫数 Number of females	3.96	11.11	16.42	21.49	21.90	18.09
世代存活率/% Generation survival rate	13.86	24.44	59.70	73.33	55.24	54.27
每雌平均产卵量 Average number of eggs laid per female	139.60	398.80	619.86	345.50	335.20	154.43
预计下一代产虫数 Estimated number of adults of next generation	76.62	1 082.86	6 076.33	5 444.82	4 055.10	1 516.11
种群趋势指数 Population trend index (I)	5.53	44.31	101.78	74.25	73.41	27.94

3　讨论

生命表方法在研究环境因子对昆虫种群动态的影响、害虫预测预报以及害虫天敌扩繁等方面被广泛应用[22]。褐带卷蛾茧蜂各虫态的生长发育受温度的影响显著。除了 36℃时的产卵前期(0.47±0.03)d 略长于 32℃时的产卵前期(0.43±0.06)d 外,其各虫态的发育历期均随温度升高而缩短,说明温度过高或过低均不利于卵巢发育,褐飞虱[23]、桃小食心虫[24]、扶桑绵粉蚧[25]等昆虫也存在这一现象。该寄生蜂产卵前期的发育起点温度(16.09±1.39)℃高于其他阶段的发育起点温度,说明该寄生蜂产卵需要较高的温度。随着温度的降低,其世代历期显著延长,说明低温会显著抑制该寄生蜂的发育。

本实验种群生命表表明,24～32℃时褐带卷蛾茧蜂的种群趋势指数较大,有利于种群的增长。在 24℃下褐带卷蛾茧蜂雌蜂的产卵量最高,为 619.86 粒,16℃下的产卵量最低,约为 24℃时产卵量的 1/4。在 36℃和 16℃时,其种群的增长受到了较大的抑制,种群趋势指数分别为 27.94 和 5.53,说明温度过高或者过低均不利于其种群繁殖,且低温对该寄生蜂影响更大。24～32℃是最适宜其生长发育和繁殖的温度范围。适宜温度范围的确定可为寄生蜂的饲养温度和田间释放时气温的选择提供依据[26]。

本文只研究了温度对褐带卷蛾茧蜂生长发育、存活与繁殖的影响,关于湿度、光照、种群密度、营养条件等环境因子对该寄生蜂生长发育的影响还有待进一步研究。这些方面的研究为该寄生蜂的规模化繁殖和野外释放提供理论依据。

参考文献

[1] 李后魂,尹艾荟,蔡波,等. 重要入侵害虫—椰子木蛾的分类地位和形态特征研究(鳞翅目,木蛾科)[J]. 应用昆虫学报,2014,51(1):283－291.

[2] VENKATESAN T, JALALI S K, SRINIVASAMURTHY K. Competitive interactions between *Goniozus nephantidis* and *Bracon brevicornis*, parasitoids of the coconut pest *Opisina arenosella* [J]. International Journal of Pest Management, 2009, 68(55): 257－263.

[3] 中华人民共和国国家林业局. 林业有害生物警示通报[N]. 警示通报[2014]1 号, 2013.

[4] 吕宝乾,严珍,金启安,等. 警惕椰子织蛾 *Opisina arenosella* Walker (鳞翅目:织蛾科)传入中国[J]. 生物安全学报,2013,22(1):17－22.

[5] JAYARATNAM T J. A study of the control of the coconut caterpillar (*Nephantis serinopa* Meyr.) in Ceylon with special reference to its eulophid parasite *Trichospilus pupivora* Ferr [J]. Tropical Agriculturist Ceylon, 1941, 96: 3－31.

[6] RAO Y R. An outbreak of *Nephantis serinopa* at Mangalore [C]. The Proceedings of the Fifth Entomology Meeting. Pusa, New Delhi, 1924: 92－98

[7] 阎伟,吕宝乾,李洪,等. 椰子织蛾传入中国及其海南省的风险性分析[J]. 生物安全学报,2013,22(3):163－168.

[8] 岳建军,沙林华,陈琳,等. 椰子木蛾生物防治研究进展[J]. 热带农业科学,2015,35(7):63－68.

[9] 李洪,刘丽,阎伟. 新入侵害虫椰子织蛾的发生及防治[J]. 中国森林病虫,2015,34(4):10－13.

[10] 石保坤,胡朝兴,黄建利,等. 温度对褐飞虱发育、存活和产卵影响的关系模型[J]. 生态学报,2014,34(20):5868－5874.

[11] 罗旭初,刘丽,黄山春,等. 褐带卷蛾茧蜂羽化、交配及产卵行为观察[J]. 环境昆虫学报,2017,39(2):382－389.

[12] 何俊华,陈学新,马云. 中国棉褐带卷蛾的茧蜂[J]. 浙江农业大学学报,1989,15(4):437－439.

[13] 王堇秀,李学军. 不同温度下胡萝卜微管蚜实验种群生命表研究[J]. 辽宁农业科学,2016(2):1－5.

[14] ZAMANI A A, TALEBI A, FATHIPOUR Y, et al. Effect of temperature on life history of *Aphidius colemani* and *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Braconidae), two parasitoids of *Aphis gossypii* and *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae) [J]. Environmental Entomology, 2007, 36(2): 263－271.

[15] LOGAN J A, WOLLKIND D J, HOYT S C, et al. An analytic model for description of temperature dependent rate phenomena in arthropods [J]. Environmental Entomology, 1976, 5(6):1133－1140.

[16] KIVAN M, KILIC N. Age-specific fecundity and life table of *Trissolcus semistriatus*, an egg parasitoid of the sunn pest *Eurygaster integriceps* [J]. Entomological Science, 2006, 9(1): 39－46.

[17] 张孝羲,陈常铭,程遐年,等. 昆虫生态及预测预报[M]. 北京:中国农业出版社,2002.

[18] 冯康. 数值计算方法[M]. 北京:国防工业出版社,1978:154－160.

[19] 梅增霞,吴青君,张友军,等. 韭菜迟眼蕈蚊在不同温度下的实验种群生命表[J]. 昆虫学报,2004,47(2):219－222.

[20] 谢钦铭,梁广文,陆永跃,等. 妃子笑荔枝上荔枝蒂蛀虫实验种群生命表的组建表[J]. 华南农业大学学报,2005,26(1):50－52.

[21] 唐启义,冯明光. DPS 数据处理系统:实验设计、统计分析及数据挖掘[M]. 北京:科学出版社,2007.

[22] 许乐园,米勇,卢虹,等. 麦长管蚜在不同温度下的年龄-龄期生命表[J]. 植物保护学报,2014,41(6):673－679.

[23] 石保坤,胡朝兴,黄建利,等. 温度对褐飞虱发育、存活和产卵影响的关系模型[J]. 生态学报,2014,34(20):5868－5874.

[24] 李定旭,王红伟,王佳阳,等. 桃小食心虫在不同温度下的实验种群生命表[J]. 昆虫学报,2010,53(7):773－779.

[25] 王莹莹,徐志宏,张莉丽,等. 南瓜寄主上扶桑绵粉蚧不同温度下的发育历期和实验种群生命表[J]. 昆虫学报,2012,55(1):77－83.

[26] PANDEY A K, TRIPATHI C P M. Effect of temperature on the development, fecundity, progeny sex ratio and life-table of *Campoletis chlorideae*, an endolarval parasitoid of the pod borer, *Helicoverpa armigera* [J]. BioControl, 2008, 53(3): 461－471.

(责任编辑:田　喆)