

榆黄毛萤叶甲的发育起点温度 与有效积温的测定*

陈亚丽^{1,3**} 阿地力·沙塔尔^{1***} 喻峰² 买合木提·尼亚孜²
马建红² 孔文军² 马斌² 贺斌¹

(1. 新疆农业大学林学与园艺学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆吐鲁番市林业有害生物防治检疫局, 吐鲁番 838000;
3. 新疆维吾尔自治区林业有害生物防治检疫局, 乌鲁木齐, 830000)

摘 要 【目的】有效防控榆黄毛萤叶甲 *Pyrrhalta maculicollis* (Mots.)在吐鲁番地区的危害。【方法】本研究在室内设置 22、25、28、31 和 34 5 个温度梯度, 分别测定榆黄毛萤叶甲各虫态的发育历期, 并以有效积温法则和“最小二乘法”计算出榆黄毛萤叶甲各虫态的发育起点温度和有效积温。【结果】卵、幼虫、蛹、产卵前期及全世代的发育起点温度分别为 13.83、12.64、12.48、14.63 和 14.01 , 有效积温分别为 83.99、186.32、121.50、185.42 和 550.54 日·度。榆黄毛萤叶甲发育速率与温度的关系分别采用线性日度模型和 Logistic 曲线模型进行拟合, 建立各虫态发育速率与温度关系模型。由 Lagrange 中值定理求出各虫态的发育最适温度、适宜温区, 其全世代的分别为: T_{mid} 为 28.23 、 T_{min} 为 14.36 、 T_{max} 为 42.11 。【结论】明确了榆黄毛萤叶甲各虫态的发育起点温度及有效积温, 计算出了各虫态的理论发育最适温度及适宜温区, 为准确预报榆黄毛萤叶甲发生期及有效防治提供理论依据。

关键词 榆黄毛萤叶甲, 发育历期, 发育起点温度, 有效积温

Developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of *Pyrrhalta maculicollis* (Mots.)

CHEN Ya-Li^{1,3**} ADIL Sattar^{1***} YU Feng² MAHMUT Niyaz² MA Jian-Hong²
KONG Wen-Jun² MA Bin² HE Bin¹

(1. College of Forestry & Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;
2. Xinjiang Turpan Forestry Pest Control and Quarantine Bureau, Turpan 838000, China;
3. Xinjiang Forestry Pest Control and Quarantine Bureau, Urumqi 830000, China)

Abstract [Objectives] To effectively control the damage caused by *Pyrrhalta maculicollis* (Mots.). [Methods] The developmental duration of *P. maculicollis* was determined under five constant temperatures in the laboratory (22, 25, 28, 31 and 34°C). The developmental threshold temperature (C) and effective accumulative temperature (K) of *P. maculicollis* were determined using the effective accumulated temperature law and least square method. [Results] The threshold temperatures of the egg, larval, pupal, and pre-oviposition stages, and that of an entire generation, were estimated to be 13.83, 12.64, 12.48, 14.63 and 14.01 °C, respectively, and the corresponding effective accumulated temperatures were 83.99, 186.32, 121.50, 185.42 and 550.54 degree-days. Logistic and a Linear models of the relationship between temperature and developmental rates for these five life-history stages were developed. On the basis of the Lagrange Theorem, the optimal, lowest, and highest, temperatures for development were estimated to be 28.23°C, 14.36°C, 42.11°C, respectively. [Conclusion] The developmental duration, developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of *P. maculicollis* were determined. In addition,

* 资助项目 Supported projects: 吐鲁番地区林业有害生物防治检疫局项目“榆黄毛萤叶甲发生规律及综合防治技术研究”的部分内容; 新疆农业大学大学生创新项目

**第一作者 First author, E-mail: colorstarirene@126.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: adl1968@126.com

收稿日期 Received: 2015-06-01, 接受日期 Accepted: 2015-09-17

the optimal, lowest, and highest, temperatures for development were calculated. These data could provide the basis for improving understanding of occurrence of these pests, and thereby improve monitoring, outbreak prediction, prevention and control.

Key words *Pyrrhalta maculicollis*, developmental duration, developmental threshold temperature, effective accumulated temperature

榆黄毛萤叶甲 *Pyrrhalta maculicollis*(Mots.) 为鞘翅目 Coleoptera, 叶甲科 Chrysomelidae 昆虫, 又称榆黄叶甲。该害虫分布在我国黑龙江、吉林、辽宁、陕西、甘肃、宁夏、河北、山东、山西、江苏、浙江、河南、福建、江西、广东、广西、台湾等省区, 国外分布于朝鲜、日本、俄罗斯等国家(嵇保中等, 2011)。

国内学者对榆黄毛萤叶甲的生物学特性以及综合防治也有一定研究, 在黑龙江省一年发生 2 代, 成虫具有假死性, 飞翔力较强, 趋光性弱(薛春梅等, 2011)。榆黄毛萤叶甲在吐鲁番每年发生 3 代, 以成虫在树缝或枯枝落叶层中越冬, 3 月底出蛰活动, 开始取食交配(时宜, 2014)。目前可用化学药剂防治以及生物防治, 包括白僵菌水溶液喷雾防治以及通过保护它的天敌(除日正和王鹤坤, 1980)。目前已有研究鉴定出新疆吐鲁番榆黄毛萤叶甲卵期寄生蜂——榆黄毛萤叶甲啮小蜂 *Oomyzus gallerucae* (Fonscolombe) (王朝等, 2015)。

昆虫的发育起点温度和有效积温是基础的生物学特征值(吴佳教等, 2000), 同时也是准确测报发生期从而确定最适防治时期的关键。国内外对榆黄毛萤叶甲的发育起点温度和有效积温尚无报道, 本试验在室内恒温条件下对榆黄毛萤叶甲的发育起点温度和有效积温进行研究, 以田间调查和室内试验为切入点, 进一步了解榆黄毛萤叶甲的发生规律。为准确预报榆黄毛萤叶甲发生期及有效防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

2014 年 5 月从林间采集新羽化的榆黄毛萤叶甲成虫, 将雌雄成虫(1:1)配对移入养虫笼, 以榆树叶片饲养, 收集其性成熟交配所产下的受

精卵粒, 备用。

1.2 试验用具

RXZ 型智能 PQX 型多段人工气候箱(温度误差 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 宁波东南仪器有限公司)、滤纸、培养皿、纱布、毛笔、无菌水等。

1.3 试验方法

设 22、25、28、31 和 34 5 个温度梯度, RH: 55% $\pm 2\%$, 光周期 13L:11D。将配对成虫刚产下的卵块连同叶片剪下, 放在培养皿中(在每个培养皿底部平铺 2 张滤纸, 加适量无菌水保持湿度), 每个培养皿内再放置 3 片新鲜叶片, 以供孵化的幼虫取食(每个温度下观察卵粒的数量在 500 粒以上)。待幼虫孵化后, 挑至灭菌后的培养皿中, 加新鲜榆树叶饲养, 用皮筋将培养皿扎紧, 防止幼虫爬出, 直至化蛹。将同一天羽化的雌雄成虫进行配对, 雌:雄=1:1, 每个温度下配对 70 对, 在灭菌的试管中用榆树叶饲养待产卵, 记录各历期所用时间(李广伟等, 2008)。

1.4 数据处理方法

1.4.1 各虫态的发育起点温度和有效积温的计算方法 根据上述观察记载的结果, 计算各虫态在不同温度下的发育历期、发育速率, 然后根据有效积温法则和“最小二乘法”计算各虫态的发育起点温度(C)和有效积温(K)及发育起点温度的标准误差 S_C 和有效积温的标准误差 S_K (谢成君, 2003)。

$$C = \frac{\sum V^2 \sum T - \sum V \sum VT}{n \sum V^2 - (\sum V)^2} \quad (1)$$

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

$$S_C = \sqrt{\frac{\sum (T - T')^2}{n-2} \left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{V}^2}{\sum (V - \bar{V})^2} \right)} \quad (3)$$

$$S_K = \sqrt{\frac{\sum (T - T')^2}{(n-2)\sum (V - \bar{V})^2}} \quad (4)$$

式中 n 为处理数, T 为温度, V 为发育速率 ($1/T$), T' (温度理论值), V' 为发育速率的平均值。

1.4.2 榆黄毛萤叶甲发育速率与温度关系的拟合

榆黄毛萤叶甲发育速率与温度关系采用两种模型拟合, 分别采用丁岩钦 (1994) 的线性日度模型 (1) 式和逻辑斯蒂 Logistic 曲线模型 (2) 式进行拟合, 两种方法的公式如下:

$$V_{(t)} = \frac{1}{K} \times T - \frac{C}{K} \quad (5)$$

$$y = \frac{K}{1 + e^{a-bx}} \quad (6)$$

式 (1) 中: $V_{(t)}$ 为温度 T 时的发育速率, K 为有效积温 (日·度), C 为发育起点温度。式 (2) 中: K 为昆虫发育速率的上限, a 、 b 为参数; x 为试验温度, y 为温度为 x 时的昆虫发育速率。

1.4.3 榆黄毛萤叶甲发育最适温度及发育适宜温区的确定方法 昆虫发育最适温度的标准为: 在此温度下, 昆虫能量消耗最少, 死亡率最低, 其发育速率与温度之比最大。即 Logistic 曲线上斜率最大点的横坐标 (温度) (岳健等, 2009)。在 Logistic 曲线上, 拐点 $C(a/r, 0.5k)$ 斜率最大, 则 $T = \frac{a}{b}$ 为榆黄毛萤叶甲的最适发育温度 T_{mido} 。设其发育适宜温度上下限为 T_{min} 和 T_{max} , 由

Lagrange 中值定理 (盛祥耀, 2007) 得:

$$T_{\text{max}} = \frac{a - \text{Ln}[S - (S^2 - 1)^{1/2}]}{b} \quad (7)$$

$$T_{\text{min}} = \frac{a - \text{Ln}[S + (S^2 - 1)^{1/2}]}{b} \quad (8)$$

$$S = \frac{[(a+1) + e^a(a-1)]}{(e^a - 1)} \quad (9)$$

式中 a 、 b 为 Logistic 曲线方程中 a 、 b (张连翔, 1993)。因为 Logistic 曲线是一条关于拐点呈中心对称的曲线, 两切点 T_{min} 、 T_{max} 也关于 C 点对称, 所以有:

$$T_{\text{min}} = \frac{T_{\text{min}} + T_{\text{max}}}{2} = \frac{a}{b} \quad (10)$$

2 结果与分析

2.1 榆黄毛萤叶甲各虫态发育历期

如表 1 所示, 在 22、25、28、31 和 34 这 5 个温度梯度下榆黄毛萤叶甲各虫态历期随温度的升高而缩短, 完成 1 个世代在不同温度下的历期分别为 65.97、50.89、40.68、32.06 和 27.39 d。针对温度对榆黄毛萤叶甲各虫态发育速度的影响效果进行了 SSR 测验表明: 在以上 5 个温度梯度中, 各处理温度对幼虫、蛹期以及产卵前历期都有显著性差异; 22、25、28 处理之间以及 22、25、28 与其他温度 (31 和 34) 处理之间, 完成卵的发育历期有显著差异, 但在 31 和 34 之间无显著性差异。

表 1 不同温度下榆黄毛萤叶甲各虫态的发育历期 (mean±SE)

Table 1 The developmental duration of immature of *Pyrrhalta maculicollis* at different temperature (mean±SE)

历期 Duration (d)	温度 Temperature (°C)				
	22	25	28	31	34
卵期 Egg	9.90±0.12a	7.66±0.11b	6.15±0.16c	4.60±0.21d	4.31±0.19d
幼虫期 Larve	19.67±0.36a	15.20±0.35b	12.33±0.44c	9.93±0.23d	8.80±0.20e
蛹期 Pupa	12.46±0.19a	9.73±0.21b	7.87±0.17c	6.73±0.15d	5.55±0.13e
产卵前期 Pre-oviposition	24.38±0.16a	18.30±0.21b	14.22±0.17c	10.80±0.26d	9.81±0.17e
全世代 Whole generation	65.97±0.53a	50.89±0.42b	40.68±0.39c	32.06±0.43d	27.39±0.34e

表中同列数据后标有不同小写字母不同表示差异显著 (Duncan's 多重比较法, $P>0.05$)。

Data in the same column followed by different lowercase letters indicate significantly different at 0.05 level by Duncan's multiple range test ($P>0.05$).

以发育历期为纵坐标,温度梯度为横坐标绘制温度与发育历期的关系图(图1),由图1可知,在22、25、28、31、34这5个温度梯度处理中,温度与发育历期呈负相关,即随温度的升高,发育历期明显缩短。比较22与34两温度处理下的试验结果:卵的发育历期由9.9 d缩短到4.31 d,幼虫的发育历期由19.67 d缩短到8.8 d,蛹期的发育历期由12.46 d缩短到5.55 d,成虫产卵前的发育历期由24.38 d缩短到9.81 d,全世代历期由65.97 d缩短到27.39 d。在整个世代中,产卵前期成虫发育所需的时间最长。

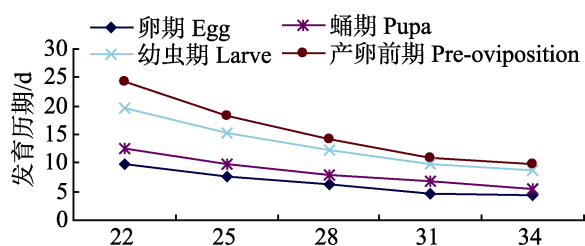


图1 榆黄毛萤叶甲各虫态发育历期与温度的关系

Fig. 1 The relationship between temperature and developmental duration for stages was developed of *Pyrrhalta maculicollis*

2.2 榆黄毛萤叶甲各虫态的发育起点温度和有效积温

根据表1,将数据代入式(1)和(2),计算出榆黄毛萤叶甲各虫态的发育起点温度和有效积温(表2)。榆黄毛萤叶甲全世代的发育起点温度 $C=14.01$,有效积温 $K=550.54$ 日·度。其中蛹期的发育起点温度最低为12.48。幼虫期、卵期、产卵前期的发育起点温度依次升高,

分别为12.64、13.83和14.63。幼虫期和产卵前期的有效积温明显高于其他两个时期,分别为186.32和185.54日·度,卵期和蛹期的有效积温分别为83.99和121.50日·度。

2.3 温度对榆黄毛萤叶甲发育速率的影响

根据表1,以榆黄毛萤叶甲各虫态不同温度下发育历期的倒数为发育速率 V ,利用Logistic曲线回归模型和线性日度回归模型两种模型拟合温度与各虫态发育速率的关系(表3,表4);从表3可以看出:榆黄毛萤叶甲各虫态的发育速率能呈现出较好的Logistic模型的规律,其决定系数都在0.983以上。Logistic方程中卵期的 K 值最大为0.79,即卵期的发育速率最快,历期最短,蛹人次之。从图4可以看出在22、25、28、31和34这5个温度下线性日度模型能够和榆黄毛萤叶甲各虫态的发育速率进行拟合,各模型回归方程的决定系数都在0.975以上。

2.4 榆黄毛萤叶甲的发育最适温度和适宜温区

以表5可见:榆黄毛萤叶甲全世代发育的最适温度为28.23,适宜温区下限为14.36,适宜温区上限为42.11。各虫态发育最适温度:卵期为28.82,幼虫期为29.54,蛹期为31.70,产卵前期为28.23。

3 小结与讨论

3.1 小结

本试验结果表明:温度对榆黄毛萤叶甲的发

表2 榆黄毛萤叶甲各虫态的发育起点温度(C)和有效积温(K)(mean±SE)

Table 2 Developmental threshold and effective accumulative temperature of *Pyrrhalta maculicollis* at different developmental stages (mean±SE)

发育阶段 Developmental stage	发育起点温度 C (°C) Developmental threshold temperature	有效积温 K (日·度) Effective accumulated temperature (degree · days)	回归方程 Regression equation	r
卵期 Egg	13.83±1.30	83.99±7.39	$T=13.83+83.99V$	0.931
幼虫期 Larve	12.64±0.52	186.32±6.03	$T=12.64+186.32V$	0.930
蛹期 Pupa	12.48±0.64	121.50±4.80	$T=12.48+121.50V$	0.948
产卵前期 Pre-oviposition	14.63±0.91	185.42±11.7	$T=14.63+185.42V$	0.960
全世代 Whole generation	14.01±0.57	550.54±21.48	$T=14.63+185.42V$	0.972

表 3 榆黄毛萤叶甲各虫态的发育速率与温度的 Logistic 拟合模型

Table 3 Logsitic model of development rate and the temperature for *Pyrrhalta maculicollis*

发育阶段 Developmental stage	模型 Modle	R^2
卵期 Egg	$Y=0.379/1+e^{3.831-0.128x}$	0.989
幼虫期 Larve	$Y=0.181/1+e^{3.658-0.124x}$	0.998
蛹期 Pupa	$Y=0.316/1+e^{3.478-0.110x}$	0.983
产卵前期 Pre-oviposition	$Y=0.156/1+e^{4.683-0.164x}$	0.996
全世代 Whole generation	$Y=0.079/1+e^{3.061-0.184x}$	0.999

表 4 榆黄毛萤叶甲各虫态的发育速率与温度的线性日度拟合模型

Table 4 Linear modle of development rate and the temperature for *Pyrrhalta maculicollis*

发育阶段 Developmental stage	模型 Modle	R^2
卵期 Egg	$y = 0.0115x - 0.1544$	0.975
幼虫期 Larve	$y = 0.0054x - 0.0674$	0.997
蛹期 Pupa	$y = 0.0082x - 0.1016$	0.995
产卵前期 Pre-oviposition	$y = 0.0053x - 0.0771$	0.988
全世代 Whole generation	$y = 0.0018x - 0.0252$	0.996

表 5 榆黄毛萤叶甲各虫态的发育最适温度和适宜温区

Table 5 The optimal temperature, the lowest temperature for development, and the highest temperature for *Pyrrhalta maculicollis*

发育阶段 Developmental stage	最适温度 () The optimal temperature	适宜温区下限 () The lowest temperature for development	适宜温区上限 () The highest temperature for development
卵期 Egg	29.82	16.09	43.54
幼虫期 Larve	29.54	15.74	43.33
蛹期 Pupa	31.70	16.66	46.75
产卵前期 Pre-oviposition	28.63	16.39	40.88
全世代 Whole generation	28.23	14.36	42.11

育有显著性影响,在 22、25、28、31 和 34 这 5 个温度梯度下,随温度的升高,发育速率加快,符合 Logistic 模型和线性日度回归模型。卵、幼虫、蛹、产卵前期及全世代的发育起点温度分别为 13.83、12.64、12.48、14.63 和 14.01 ;有效积温分别为 83.99、186.32、121.50、185.42 和 550.54 日·度;最适发育温度分别为 29.82、29.54、31.70、28.63 和 28.23 。

3.2 讨论

昆虫在恒温条件与自然变温条件下的生长发育存在差异(宗世祥等,2004)。本实验是在恒温培养箱中进行的,其温度相对恒定,各种生物因子都是模拟真实环境,却仍有不同之处,难免在操作和仪器上存在误差,但是室内恒温下测定的结果仍然具有重要的参考价值。

本研究表明:榆黄毛萤叶甲的发育起点温度为 14.01 , 高于双斑萤叶甲 *Monolepta*

hieroglyphica 的发育起点温度 10.2 (李广伟等,2008)。榆黄毛萤叶甲全世代的有效积温为 550.54 日·度,低于双斑萤叶甲 *Monolepta hieroglyphica* 的全世代有效积温 1 971.6 日·度。这可能是由于地域温度不同所造成,吐鲁番和石河子虽同属新疆地区,但全年温度差异较大,尤其是在夏季。相对于分布在全国不同的地区的核桃扁叶甲 *Gastrolina depressa*(孟庆英等,2006)、柳蓝叶甲 *Plagiodera versicolora* (杨振德等,2006)和椰心叶甲 *BrontisPa longissima* (钟义海等,2004)而言,发育起点温度均低于榆黄毛萤叶甲。所以因地域温度条件的不同,榆黄毛萤叶甲的发育起点温度及有效积温可能会存在一定的差异性。

影响榆黄毛萤叶甲发育的生态因子很多,本试验仅对温度单因子进行研究,至于影响榆黄毛萤叶甲发育的其他因子如寄主、光照、湿度等还有待于进一步研究,在具体的预测预报中,应用

这些生物学常数时,需根据当地的气候特点加以分析、修正,同时结合其生物学特性以便更准确地提供防治时期,指导林间防治。

参考文献 (References)

- Chu RZ, Wang HK, 1980. The preliminary experiment of *Beauveria bassiana* control *Pyrrhalta maculicollis*. *Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology*, 1: 13. [除日正, 王鹤坤, 1980. 白僵菌防治榆树金花虫初步试验. *江苏林业科技*, 1: 13.]
- Ding YQ, 1994. *Mathematical Ecology of Insects*. Beijing: Science Press. 450–454. [丁岩钦, 1994. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社. 450–454.]
- Ji BZ, Liu SW, Zhang K, 2011. *Entomology Basis and Common Species Identification*. Beijing: Science Press. 128–129. [嵇保中, 刘曙雯, 张凯, 2011. 昆虫学基础与常见种类识别. 北京: 科学出版社. 128–129.]
- Meng QY, Liu XH, Yang GH, Pei YH, Sun XG, 2006. Developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of *Gastrolina depressa*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(6): 848–850. [孟庆英, 刘学辉, 杨广海, 裴元慧, 孙绪良等. 核桃扁叶甲的发育起点温度和有效积温. *应用昆虫学报*, 43(6): 848–850.]
- Li GW, Zhang JP, Chan J, Liu J, 2008. Threshold temperature and effective accumulated temperature of *Monolepta hieroglyphica*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 45(4): 621–624. [李广伟, 张建萍, 陈静, 刘继, 2008. 双斑长跗萤叶甲的发育起点温度与有效积温. *昆虫知识*, 45(4): 621–624.]
- Sheng XY, 2007. *Advanced Mathematics (Vol. I)*. Beijing: Higher Education Press. 106–107. [盛祥耀, 2007. 高等数学(上). 北京: 高等教育出版社. 106–107.]
- Shi Y, 2014. Occurrence and control of *Pyrrhalta maculicollis* from Turpan. *China's Agricultural Information Magazine*, 15: 59. [时宜, 2014. 吐鲁番市榆黄毛莹叶甲的发生与防治. *中国农业信息*, 15: 59.]
- Xie CJ, 2003. Threshold temperature and effective accumulated temperature of the egg of *Bruchus pisorum* (Linnaeus). *Plant Quarantine*, 17(4): 220–223. [谢成君, 2003. 豌豆象卵发育起点温度和有效积温测定. *植物检疫*, 17(4): 220–223.]
- Xue CM, Li JL, Wang ZW, Liu WQ, Luo ZW, 2011. Biological characteristic and integrated control of *Pyrrhalta maculicollis*. *Jiangxi Plant Protection* 34(2): 81–82. [薛春梅, 李佳琳, 王卓微, 刘伟奇, 罗志文, 2011. 榆黄叶甲生物学特性及其综合防治. *江西植保*, 34(2): 81–82.]
- Wang C, Li Q, Tang XL, Lu JX, Hu HY, 2015. Leaf eating pest of elm *Pyrrhalta luteola* (Müller) and its egg parasitoid *Oomyzus gallerucae* (Fonscolombe) (Chalcidoidea: Eulophidae) from Turpan. *Xinjiang Agricultural Sciences*, (2): 283–287. [王朝, 李勤, 唐秀丽, 鲁佳雄, 胡红英. 吐鲁番地区榆黄毛莹叶甲及其卵寄生蜂记述. *新疆农业科学*, (2): 283–287.]
- Wu JJ, Liang F, 2000. Relationship between the developmental rate and temperature of *Bactrocera dorsalis*. *Plant Quarantine*, 14(6): 321–324. [吴佳教, 梁帆, 2000. 桔小实蝇发育速率与温度关系的研究. *植物检疫*, 14(6): 321–324.]
- Yang ZD, Tian XQ, Zhao BG, 2006. Threshold and effective accumulative temperature for the development of *Plagiodera versicolora*. *Journal of Beijing Forestry University*, 28(2): 139–141. [杨振德, 田小青, 赵博光, 2006. 柳蓝叶甲发育起点温度与有效积温的研究. *北京林业大学学报*, 28(2): 139–141.]
- Yue J, He J, Zhang R, He DH, 2009. Relationship between the temperature and the development of *Hippodamia variegata*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 46(4): 605–609. [岳健, 何嘉, 张蓉, 贺达汉, 2009. 多异瓢虫的发育与温度的关系. *昆虫知识*, 46(4): 605–609.]
- Zhang LX, Liu ZH, 1993. Under normal temperature effect of insect development rate "S" shaped relationship quantitative method for determining the optimum temperature zone. *Liaoning Forestry Science and Technology*, 3: 31–34. [张连翔, 刘朝晖, 1993. 常温下昆虫发育速率温度效应的“S”形关系中最适温区的定量确定方法. *辽宁林业科技*, 3: 31–34.]
- Zong SX, Wang T, Luo YQ, Lu CK, Chen L, 2004. Threshold and effective accumulative temperature for the development of *Holcocerus hippophaecolus*. *International Research and Development of Seabuckthorn*, 2(2): 31–34. [宗世祥, 王涛, 骆有庆, 路常宽, 陈亮, 2004. 沙棘木蠹蛾蛹的发育起点温度和有效积温研. *国际沙棘研究与开发*, 2(2): 31–34.]
- Zhong YH, Wu XY, Liu K, Zhao ZY, Peng ZQ, Wu KH, 2004. Threshold and effective accumulative temperature for the development of *Brontispa longissima*. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 25(2): 47–49. [钟义海, 伍筱影, 刘奎, 赵志英, 彭正强, 吴坤宏, 2004. 椰心叶甲发育的起点温度和有效积温. *热带作物学报*, 25(2): 47–49.]