

茶银尺蠖的发育起点温度和有效积温*

耿书宝** 侯贺丽 江孟娜 乔利 尹健 张方梅***

(信阳农林学院, 信阳 464000)

摘要 【目的】探索温度对茶银尺蠖 *Scopula subpunctaria* 生长发育的影响, 明确其发育起点温度和有效积温。【方法】将茶银尺蠖置于 13、16、19、22、25、28 和 31 °C 的恒定温度下饲养, 测定其发育历期; 运用线性回归方程, 求出茶银尺蠖各个发育阶段的发育起点温度和有效积温。【结果】温度对茶银尺蠖各个发育阶段的发育历期均有显著影响 ($P<0.05$), 且发育历期随温度升高而逐渐缩短。卵-蛹的发育历期从 13 °C 下的 105.77 d 缩短到 31 °C 下的 29.62 d。茶银尺蠖卵、幼虫、预蛹、蛹和卵-蛹的发育起点温度分别为 7.51、7.94、3.43、8.73 和 7.95 °C, 有效积温分别为 120.92、276.20、43.65、156.99 和 595.24 日·度。在 13、16、19、22、25、28 和 31 °C 温度下, 卵-蛹的总存活率分别为 50.31%、47.21%、60.27%、48.30%、69.77%、36.96% 和 12.67%。【结论】茶银尺蠖发育速率随着温度升高而加快, 25 °C 时茶银尺蠖的存活率最高, 25 °C 是茶银尺蠖生长发育最适合的温度。本研究结果为茶银尺蠖的田间种群数量增长、年发生代数和发生量预测预报及防治提供理论依据。

关键词 茶银尺蠖; 温度; 发育历期; 发育起点温度; 有效积温

The lower threshold temperature and thermal constant of *Scopula subpunctaria*

GENG Shu-Bao** HOU He-Li JIANG Meng-Na QIAO Li YIN Jian ZHANG Fang-Mei***

(Xinyang Agriculture and Forestry University, Xinyang 464000, China)

Abstract 【Objectives】To investigate the effect of temperature on the development of *Scopula subpunctaria* and determine the lower threshold temperature and thermal constant of this species. 【Methods】The developmental period of *S. subpunctaria* was determined under at 13, 16, 19, 22, 25, 28 and 31 °C and the lower threshold temperature and thermal constant of different developmental stages calculated using linear regression. 【Results】Temperature had a significant influence on the developmental duration of each stage ($P<0.05$), which decreased as temperature increased. The developmental period of eggs-pupae decreased from 105.77 d at 13 °C to 29.62 d at 31 °C. The lower threshold temperatures of eggs, larvae, pre-pupae, pupae and eggs-pupae were 7.51, 7.94, 3.43, 8.73 and 7.95 °C, respectively, and their thermal constants were 120.92, 276.2, 43.65, 156.99 and 595.24 degree-days, respectively. At 13, 16, 19, 22, 25, 28 and 31 °C, the survival rate of eggs-pupae was 50.31%, 47.21%, 60.27%, 48.30%, 69.77%, 36.96% and 12.67%, respectively. 【Conclusion】The development rate of *S. subpunctaria* increased with temperature. The survival rate of eggs-pupae was highest at 25 °C, which was the most suitable temperature for the growth and development of this species. These results provide important information for predicting and preventing the growth of *S. subpunctaria* populations, and for implementing control measures for this pest in the field.

Key words *Scopula subpunctaria*; temperature; developmental period; lower threshold temperature; thermal constant

*资助项目 Supported projects: 河南省自然科学基金项目 (222300420269); 河南省留学人员科研择优资助项目 (54); 信阳农林学院高水平科研孵化器建设基金资助项目 (FCL202102); 信阳农林学院青年教师科研基金资助项目 (QN2021028); 信阳农林学院作物绿色防控与品质调控科技创新团队

**第一作者 First author, E-mail: shubaogeng@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: zhangfm@xyafu.edu.cn

收稿日期 Received: 2022-03-10; 接受日期 Accepted: 2022-06-10

茶银尺蠖 *Scopula subpunctaria* (Herrich-Schaeffer) 又名白尺蠖、青尺蠖, 属鳞翅目 (Lepidoptera) 尺蛾科 (Geometridae), 是茶树上常见的害虫之一 (张伟等, 2009; 郭华伟和罗宗秀, 2019)。该虫食叶量大、繁殖速度快并且发生面积广, 已知分布于吉林、江苏、浙江、山东、湖南及湖北等省 (张建强和姚艳, 1977; 胡文静等, 2010, 2011; 高剑龙等, 2016)。幼虫喜欢停栖在叶片边缘, 咬食嫩叶边缘呈网状半透明斑, 后期幼虫常将叶片咬食成较大而光滑的“C”形缺刻, 大发生时常会将整片茶园的茶叶吃光, 仅留主脉, 对茶叶的生产和质量造成了极大的影响 (郭华伟和罗宗秀, 2019)。

温度对昆虫的生长发育和繁殖有重要影响, 昆虫的发育历期会随温度的升高而逐渐缩短。国内外有关温度对昆虫生长发育及其发育起点温度与有效积温的研究报道, 如草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (何莉梅等, 2019; 张红梅等, 2020)、灰茶尺蠖 *Ectopis grisescens* (葛超美等, 2016)、绿翅绢野螟 *Diaphania angustalis* (张玉静等, 2016)、黄斑长翅卷叶蛾 *Acleris fimbriana* (刘永华等, 2019)、云眼斑蝻 *Creobroter nebulosa* (刘钦朋等, 2020)、云南派姬小蜂 *Pediobius yunnanensis* (马梦然等, 2020) 及金纹细蛾 *Phyllonorycter ringoniella* (Geng and Jung, 2018a, 2018b) 等。目前, 国内外有关茶银尺蠖的研究主要涉及茶银尺蠖的生活习性、危害特点、防治方法、口器、触角和性腺超微结构、成虫羽化和交配习性及其性信息素诱捕试验等方面 (佚名, 1977; 张建强和姚艳, 1977; 张伟等, 2009; 胡文静等, 2010, 2011; 高剑龙等, 2016; 郭华伟和罗宗秀, 2019; Ma et al., 2019; 张方梅等, 2019; Geng et al., 2021)。温度对茶银尺蠖生长发育的影响及其发育起点温度和有效积温的研究还未见报道。掌握茶银尺蠖的发育起点温度和有效积温这些基础的生物学学习性参数, 可用于预测茶银尺蠖年发生代数, 推算出茶园发生高峰期, 从而采取合理的茶树害虫综合防治措施。

本文通过测定茶银尺蠖在 7 个不同温度下

的生长发育参数, 旨在阐明温度对其生长发育的影响, 明确其各个发育阶段的发育起点温度和有效积温。本研究结果不仅为茶银尺蠖的室内饲养和其他相关基础研究提供基础数据, 而且为茶银尺蠖的田间种群数量增长、年发生代数和发生量预测预报及防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

茶银尺蠖采自河南省信阳市浉河区十三里桥乡小庙村 (32°01'35"N, 113°59'21"E) 茶园内。2019 年 3 月中旬至 4 月上旬, 在茶园中捕捉 30 对左右的茶银尺蠖成虫, 带回实验室置于养虫笼 (50 cm×50 cm×45 cm) 中饲养, 饲养温度为 (25±1) °C, 相对湿度为 60%±10%, 用脱脂棉蘸取 10% 蜂蜜水, 作为成虫的补充营养, 每天更换新鲜蜂蜜水。将 6-8 枝新鲜茶树枝 (20 cm 长) 插入装满水的锥形瓶 (300 mL) 中, 然后放入养虫笼内, 供茶银尺蠖成虫产卵。每天用毛笔收集茶枝上的卵粒, 放入另外一个养虫笼中, 待卵孵化后, 用新鲜茶叶饲养, 直至幼虫化蛹。饲养期间及时更换新鲜茶叶。待幼虫化蛹后, 每天收集蛹并单头放入锥形瓶 (300 mL) 中, 然后用纱布 (100 目) 封住瓶口, 待羽化后, 按照上述方法, 继续饲养下一代, 繁殖种群。

1.2 试验方法

在茶银尺蠖种群养虫笼中, 每天收集新鲜的卵粒, 放入培养皿 (直径 × 高 = 9 cm × 1.5 cm) 中。将 300-323 粒初产卵 (< 24 h) 分别放入温度设定为 13、16、19、22、25、28 和 31 °C 的人工气候箱 (RTOP-310Y, 浙江托普云农) 中, 饲养条件均为相对湿度 75%±5%, 光周期 14L: 10D。每粒卵均单独编号, 放入单独的培养皿中, 待卵孵化后, 幼虫继续单头在培养皿中用新鲜茶叶饲养, 茶叶的叶柄处用脱脂棉蘸水保湿, 每天及时更换新鲜茶叶, 并记录幼虫的龄期和末龄幼虫进入预蛹的日期。待预蛹完全化蛹之后, 把蛹单头放入锥形瓶 (300 mL) 中, 然后用纱布 (100

目)封住瓶口,待羽化后,鉴定雌雄,统计数量时排除羽化后畸形的成虫。因为每粒卵都是单独编号,每天记录数据,所以可根据羽化出的成虫

数目和雌雄鉴定结果,计算雌雄茶银尺蠖卵、各龄幼虫、预蛹和蛹的发育历期。每个温度下各个发育阶段的存活数如表 1 所示。

表 1 不同温度条件下茶银尺蠖各发育阶段的存活数(头)

Table 1 Survival numbers of different stages of *Scopula subpunctaria* at different temperatures (ind.)

温度(℃) Tempera- tures (℃)	初始卵数量		发育阶段 Developmental stages									
	Initial number of eggs	卵 Egg	1 龄幼虫 1st instar larva	2 龄幼虫 2nd instar larva	3 龄幼虫 3rd instar larva	4 龄幼虫 4th instar larva	5 龄幼虫 5th instar larva	预蛹 Pre- pupa	蛹 Pupa	卵-蛹 Egg- pupa	雌成虫 Female adult	雄成虫 Male adult
13	322	255	221	211	200	198	197	185	162	162	81	81
16	322	207	178	173	169	168	166	166	152	152	81	71
19	302	260	221	216	212	211	206	200	182	182	90	85
22	323	229	186	180	176	176	173	172	156	156	63	92
25	301	279	242	237	234	233	228	228	210	210	88	122
28	303	227	185	175	168	163	156	139	112	112	56	57
31	300	209	145	132	123	105	93	58	38	38	15	11

1.3 发育速率与温度之间的线性模型及发育起点温度和有效积温的计算

茶银尺蠖各个阶段的发育速率是平均发育历期的倒数,根据有效积温法则(公式 1)(Geng and Jung, 2018a),发育速率与温度之间存在线性关系,可以用公式(2)表示。为了计算简便,将公式(2)变形为公式(3),用于模拟茶银尺蠖不同发育阶段在不同温度下的发育速率,估计参数 a 和 b ,计算相应的发育起点温度($LT = -b/a$)和有效积温($K = 1/a$)。

$$D(T - LT) = K \quad (1)$$

$$1/D = -LT/K + T/K \quad (2)$$

$$y = ax + b \quad (3)$$

式中, D 为温度 T (℃)下的发育历期(d), LT 是发育起点温度(℃), K 是有效积温($d \cdot ^\circ C$), y ($=1/D$)是发育速率(d^{-1}), x 是温度 T (℃), a 和 b 是线性模型的两个参数。

1.4 数据分析

数据分析使用 Excel 2016 软件和 SAS 9.3 软件。发育速率与温度之间的线性关系,通过 SAS 软件进行线性回归,求得线性方程及相关统计参

数。不同温度下茶银尺蠖发育历期之间的显著性差异采用单方面方差分析(One-way ANOVA),均值比较用 SNK 检验(Geng and Jung, 2018a)。同一温度处理下雌雄之间的发育历期的差异显著性用成对法 t -检验(SAS Institute, 2013)。

2 结果与分析

2.1 温度对茶银尺蠖发育历期的影响

茶银尺蠖在 13-31℃温度范围内可以从卵发育到成虫,温度对茶银尺蠖各发育阶段均有显著影响(卵: $F=2\,404.21$, $df=6, 987$, $P<0.000\,1$; 1 龄幼虫: $F=571.98$, $df=6, 987$, $P<0.000\,1$; 2 龄幼虫: $F=375.11$, $df=6, 987$, $P<0.000\,1$; 3 龄幼虫: $F=312.53$, $df=6, 987$, $P<0.000\,1$; 4 龄幼虫: $F=520.13$, $df=6, 987$, $P<0.000\,1$; 5 龄幼虫: $F=151.82$, $df=6, 987$, $P<0.000\,1$; 总幼虫: $F=2\,416.76$, $df=6, 987$, $P<0.000\,1$; 预蛹: $F=143.52$, $df=6, 987$, $P<0.000\,1$; 蛹: $F=1\,049.55$, $df=6, 987$, $P<0.000\,1$; 卵-蛹: $F=5\,942.01$, $df=6, 987$, $P<0.000\,1$),各发育阶段的发育历期随温度的升高而逐渐缩短(表 2)。卵的发育历期在 13℃时最长,为 20.24 d,在 28℃下最短,为 6.02 d。

表 2 不同温度条件下茶银尺蠖各发育阶段的发育历期

Table 2 Developmental periods of different stages of *Scopula subpunctaria* at different temperatures

发育阶段 Developmental stages	发育历期 (d) Developmental periods (d)						
	13 °C	16 °C	19 °C	22 °C	25 °C	28 °C	31 °C
卵 Egg	20.24 ± 0.11a	18.13 ± 0.19b	9.32 ± 0.10c	8.28 ± 0.15d	6.87 ± 0.03e	6.02 ± 0.01f	6.12 ± 0.27f
1 龄幼虫 1st instar larva	11.79 ± 0.11a	10.89 ± 0.21b	7.09 ± 0.08c	5.52 ± 0.11d	4.79 ± 0.09e	4.16 ± 0.10f	4.08 ± 0.25f
2 龄幼虫 2nd instar larva	9.17 ± 0.14a	8.93 ± 0.25a	5.10 ± 0.08b	3.74 ± 0.13c	3.11 ± 0.08d	2.69 ± 0.07d	3.00 ± 0.18d
3 龄幼虫 3rd instar larva	8.75 ± 0.23a	7.55 ± 0.22b	5.65 ± 0.08c	3.93 ± 0.11d	2.60 ± 0.05e	2.07 ± 0.07e	2.27 ± 0.15e
4 龄幼虫 4th instar larva	10.10 ± 0.21a	5.93 ± 0.17b	3.30 ± 0.11c	2.54 ± 0.06d	2.41 ± 0.05d	2.23 ± 0.08d	1.54 ± 0.15e
5 龄幼虫 5th instar larva	7.52 ± 0.16a	5.25 ± 0.20b	4.55 ± 0.15c	3.51 ± 0.06d	3.16 ± 0.07d	2.58 ± 0.12e	2.27 ± 0.19e
幼虫 Larva	47.35 ± 0.39a	38.55 ± 0.36b	25.69 ± 0.23c	19.24 ± 0.17d	16.08 ± 0.09e	13.73 ± 0.19f	13.15 ± 0.29f
预蛹 Pre-pupa	4.86 ± 0.12a	4.03 ± 0.13b	2.54 ± 0.11c	2.19 ± 0.05cd	1.84 ± 0.06d	2.01 ± 0.08d	1.92 ± 0.12d
蛹 Pupa	33.32 ± 0.46a	24.93 ± 0.47b	14.86 ± 0.21c	11.31 ± 0.11d	9.82 ± 0.08e	8.16 ± 0.10f	8.27 ± 0.15f
卵-蛹 Egg-Pupa	105.77 ± 0.41a	85.63 ± 0.68b	52.41 ± 0.35c	41.02 ± 0.21d	34.61 ± 0.09e	29.92 ± 0.22f	29.62 ± 0.32f

表中数据为平均值 ± 标准误, 同行数据后标有不同小写字母表示同一发育阶段的茶银尺蠖在不同温度下的发育历期差异显著 ($P < 0.05$, SNK 检验)。

Data are mean±SE, and followed by the different lowercase letters in the same row indicate significant differences at different temperatures in the same developmental period of *S. subpunctaria* ($P < 0.05$, SNK test).

幼虫期的发育历期从 13 °C 的 47.35 d 逐渐缩短到 31 °C 下的 13.15 d。蛹的发育历期在 13 °C 时最长, 为 33.32 d, 在 28 °C 下最短, 为 8.16 d。卵到蛹的发育历期从 13 °C 的 105.77 d 逐渐缩短到 31 °C 下的 13.15 d。

茶银尺蠖卵在 25 °C 下存在显著的性别差异 ($t=2.61$, $df=208$, $P=0.0098$), 在其他温度下无显著的性别差异 ($P > 0.05$) (表 3)。1 龄幼虫在 22 °C 下存在显著的性别差异 ($t=3.40$, $df=154$, $P=0.0009$); 2 龄幼虫在 28 °C 下存在显著的性别差异 ($t=4.09$, $df=111$, $P < 0.0001$); 3 龄幼虫在 25 °C 下存在显著的性别差异 ($t=2.70$, $df=208$, $P=0.0075$); 4 龄幼虫在 28 °C 下存在显著的性别差异 ($t=2.26$, $df=111$, $P=0.0255$)。5 龄幼虫的发育历期在 13-28 °C 范围内均有显著的性别差异 (13 °C: $t=3.71$, $df=160$, $P=0.0003$; 16 °C: $t=4.11$, $df=150$, $P < 0.0001$; 19 °C: $t=3.45$, $df=173$, $P=0.0007$; 22 °C: $t=3.72$, $df=154$, $P=0.0003$;

25 °C: $t=4.14$, $df=208$, $P < 0.0001$; 28 °C: $t=2.52$, $df=111$, $P=0.0131$)。在 16-28 °C 下, 整个幼虫的发育历期存在显著差异, 雌虫的发育历期要长于雄虫 (16 °C: $t=2.64$, $df=150$, $P=0.0093$; 19 °C: $t=2.92$, $df=173$, $P=0.0040$; 22 °C: $t=4.81$, $df=154$, $P < 0.0001$; 25 °C: $t=5.71$, $df=208$, $P < 0.0001$; 28 °C: $t=2.30$, $df=111$, $P=0.0234$)。在高温 25-31 °C 范围内, 雌蛹的发育历期显著低于雄蛹 (25 °C: $t=4.72$, $df=208$, $P < 0.0001$; 28 °C: $t=2.04$, $df=111$, $P=0.0437$; 31 °C: $t=2.94$, $df=24$, $P=0.0072$)。从卵到蛹的整个发育历期, 只在 22 °C 下存在显著的性别差异 ($t=2.40$, $df=154$, $P=0.0175$)。

2.2 雌雄茶银尺蠖不同发育阶段发育起点温度和有效积温

茶银尺蠖各个发育阶段的发育速率与温度存在显著的线性回归关系 (图 1, 表 4)。随着温

表 3 不同性别的茶银尺蠖各发育阶段在不同温度条件下的发育历期
Table 3 Developmental periods of different stages of female and male *Scopula subpunctaria* at different temperatures

温度(°C) Temperatures (°C)	卵 Egg		1 龄幼虫 1st instar larva		2 龄幼虫 2nd instar larva		3 龄幼虫 3rd instar larva		4 龄幼虫 4th instar larva		5 龄幼虫 5th instar larva		幼虫 Larva		预蛹 Pre-pupa		蛹 Pupa		卵-蛹 Egg-Pupa	
	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂
13	20.25±0.16aA	20.23±0.16aA	11.78±0.15aA	11.80±0.17aA	9.33±0.21aA	9.01±0.18aA	8.62±0.32aA	8.89±0.33aA	9.95±0.29aA	10.26±0.31aA	8.10±0.21aA	6.95±0.23aB	47.78±0.50aA	46.91±0.60aA	4.73±0.16aA	4.99±0.18aA	32.63±0.63aA	34.01±0.66aA	105.38±0.58aA	106.15±0.59aA
16	18.42±0.16bA	17.80±0.35bA	10.57±0.23bA	11.25±0.38aA	9.31±0.36aA	8.49±0.35aA	7.38±0.30bA	7.75±0.31bA	6.17±0.24bA	5.65±0.23bA	5.98±0.29bA	4.42±0.23bB	39.41±0.47bA	37.56±0.52bB	4.09±0.14bA	3.96±0.22bA	24.60±0.69bA	25.30±0.62bA	86.52±0.94bA	84.62±0.99bA
19	9.31±0.14cA	9.33±0.13cA	7.09±0.11cA	7.09±0.12bA	5.17±0.13bA	5.02±0.11bA	5.58±0.10cA	5.72±0.11cA	3.43±0.16cA	3.15±0.14cA	5.06±0.22cA	4.02±0.20bB	26.32±0.33cA	25.01±0.31cB	2.58±0.17cA	2.49±0.15cA	14.70±0.33cA	15.04±0.26cA	52.91±0.54cA	51.87±0.44cA
22	8.16±0.24dA	8.37±0.19dA	5.97±0.17dA	5.22±0.14cB	3.89±0.23cA	3.63±0.15cA	4.02±0.18dA	3.87±0.14dA	2.52±0.10dA	2.55±0.07cD	3.79±0.10dA	3.32±0.08cB	20.19±0.30dA	18.59±0.18dB	2.35±0.08cD	2.08±0.07cD	10.94±0.13dA	11.57±0.16dA	41.63±0.42dA	40.60±0.21dB
25	6.77±0.06eB	6.93±0.03eA	4.88±0.16eA	4.73±0.11cD	3.02±0.11cD	3.17±0.11cA	2.75±0.08eA	2.50±0.05eB	2.47±0.07dA	2.38±0.06cD	3.50±0.12dE	2.91±0.09cD	16.61±0.14eA	15.69±0.10eB	1.83±0.11dA	1.85±0.07cD	9.41±0.12dE	10.11±0.09eA	34.63±0.15eA	34.60±0.11eA
28	6.02±0.02eFA	6.02±0.13dA	4.30±0.16eFA	4.02±0.13dA	2.41±0.10dB	2.96±0.09cA	2.14±0.10eFA	2.00±0.09eA	2.41±0.12dA	2.05±0.11dE	2.89±0.17eA	2.28±0.17dB	14.16±0.27fA	13.32±0.25fB	1.96±0.09cD	2.05±0.13cD	7.95±0.11eB	8.37±0.18fA	30.09±0.28fA	29.75±0.34fA
31	6.33±0.37fA	5.82±0.38fA	4.13±0.36fA	4.00±0.36dA	3.00±0.22cD	3.00±0.33cA	2.13±0.22eA	2.45±0.21eA	1.60±0.24eA	1.45±0.16eA	2.07±0.21fA	2.55±0.34dA	12.93±0.36fA	13.45±0.49fA	2.13±0.17cD	1.64±0.15dB	7.93±0.12eB	8.73±0.27eFA	29.73±0.33fA	29.45±0.62fA

表中数据为平均值±标准误, 同列数据后标有不同小写字母表示同一发育阶段的茶银尺蠖在不同温度下的发育历期差异显著 ($P<0.05$), 同行中同一发育阶段数据后标有不同大写字母表示雌雄性间发育历期差异显著 ($P<0.05$, 单因素方差分析, SNK 检验)。
Data are showed as mean± SE. Data in the same column followed by different lowercase letters are significantly different ($P<0.05$), Data for male and female at the same developmental stage in the same row followed by different uppercase letters are significantly different ($P<0.05$, One-way ANOVA, SNK test).

表 4 雌雄茶银尺蠖各发育阶段的发育速率与温度之间的线性模型
Table 4 The linear models between temperature and developmental rates of different developmental stages of female and male *Scopula subpunctaria*

发育阶段 Developmental stages	♀			♂			♀+♂		
	线性方程 Linear model	R ²	P	线性方程 Linear model	R ²	P	线性方程 Linear model	R ²	P
卵 Egg	y=0.008 37x - 0.063 73	0.961	0.000 6	y=0.008 19x - 0.060 84	0.966	0.000 4	y=0.008 27x - 0.062 21	0.964	0.005 0
1 龄幼虫 1st instar larva	y=0.010 43x - 0.059 57	0.985	0.012 3	y=0.011 80x - 0.080 87	0.969	0.000 4	y=0.011 13x - 0.070 21	0.980	0.000 2
2 龄幼虫 2nd instar larva	y=0.021 64x - 0.208 46	0.966	0.008 3	y=0.017 14x - 0.125 56	0.956	0.000 7	y=0.019 18x - 0.163 45	0.972	0.000 2
3 龄幼虫 3rd instar larva	y=0.023 88x - 0.237 86	0.937	0.001 5	y=0.026 99x - 0.290 77	0.930	0.001 9	y=0.025 48x - 0.264 79	0.934	0.001 7
4 龄幼虫 4th instar larva	y=0.022 93 x - 0.174 91	0.896	0.004 2	y=0.026 23x - 0.222 49	0.958	0.000 7	y=0.024 52x - 0.198 04	0.933	0.001 7
5 龄幼虫 5th instar larva	y=0.014 59x - 0.068 48	0.988	<0.000 1	y=0.017 89x - 0.083 06	0.970	0.000 3	y=0.016 33x - 0.079 48	0.989	<0.000 1
幼虫 Larva	y=0.003 47x - 0.027 04	0.990	<0.000 1	y=0.003 75x - 0.030 18	0.991	<0.000 1	y=0.003 62x - 0.028 75	0.990	<0.000 1
预蛹 Pre-pupa	y=0.023 16x - 0.087 12	0.909	0.003 2	y=0.022 63x - 0.070 02	0.848	0.009 2	y=0.022 91x - 0.078 68	0.885	0.005 2
蛹 Pupa	y=0.006 63x - 0.058 80	0.989	<0.000 1	y=0.006 18x - 0.053 22	0.989	<0.000 1	y=0.006 37x - 0.055 59	0.990	<0.000 1
卵-蛹 Egg-Pupa	y=0.001 67x - 0.013 31	0.988	<0.000 1	y=0.001 69x - 0.013 39	0.989	<0.000 1	y=0.001 68x - 0.013 36	0.988	<0.000 1

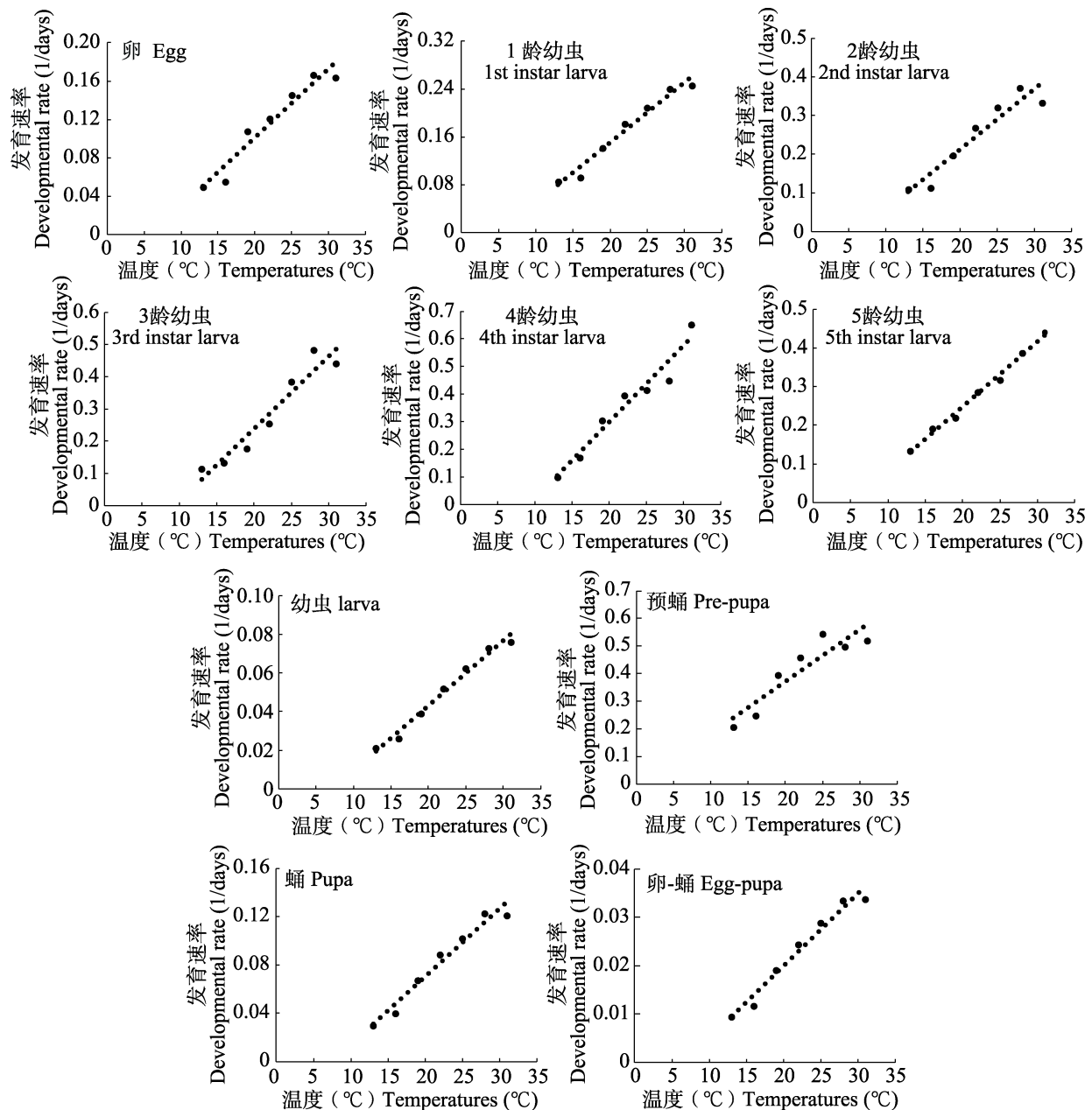


图1 不同温度下茶银尺蠖各发育阶段的发育速率及其线性关系

Fig. 1 Developmental rates of different stages of *Scopula subpunctaria* at different temperatures and their linear relationship

度升高, 茶银尺蠖的发育速率逐渐升高, 在 13-31 °C 温度范围内, 各个发育阶段的发育速率与温度之间存在显著的线性关系 ($P < 0.05$)。根据发育速率和温度之间的线性方程, 计算出茶银尺蠖各发育阶段的发育起点温度和有效积温 (表 5)。茶银尺蠖雌性卵、幼虫、预蛹、蛹和卵至蛹的发育起点温度分别为 7.61、7.79、3.76、8.87 和 7.97 °C, 有效积温分别为 119.47、288.18、

43.18、150.83 和 598.80 日·度; 雄性茶银尺蠖的卵、幼虫、预蛹、蛹和卵至蛹的发育起点分别为 7.43、8.05、3.09、8.61 和 7.92 °C, 有效积温分别为 122.10、266.67、44.19、161.81 和 591.24 日·度; 茶银尺蠖的 (♀ + ♂) 卵、幼虫、预蛹、蛹和卵至蛹的发育起点温度分别为 7.52、7.94、3.34、8.73、7.95 °C, 有效积温分别为 120.92、276.24、43.65、156.99 和 595.24 日·度。

表 5 不同茶银尺蠖的发育起点温度和有效积温
Table 5 Developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of different developmental stages of female and male *Scopula subpunctaria*

发育阶段 Developmental stages	发育起点温度 (°C)			有效积温 (日·度)		
	Lower threshold temperature (°C)			Thermal constant (degree·days)		
	♀	♂	♀+♂	♀	♂	♀+♂
卵 Egg	7.61	7.43	7.52	119.47	122.10	120.92
1 龄幼虫 1st instar larva	5.71	6.85	6.31	95.88	84.75	89.85
2 龄幼虫 2nd instar larva	9.63	7.33	8.52	46.21	58.34	52.14
3 龄幼虫 3rd instar larva	9.96	10.77	10.39	41.88	37.05	39.25
4 龄幼虫 4th instar larva	7.63	8.48	8.08	43.61	38.12	40.78
5 龄幼虫 5th instar larva	4.69	4.64	4.87	68.54	55.90	61.24
幼虫 Larva	7.79	8.05	7.94	288.18	266.67	276.24
预蛹 Pre-pupa	3.76	3.09	3.43	43.18	44.19	43.65
蛹 Pupa	8.87	8.61	8.73	150.83	161.81	156.99
卵-蛹 Egg-Pupa	7.97	7.92	7.95	598.80	591.72	595.24

2.3 不同温度下茶银尺蠖的存活率

不同温度下茶银尺蠖从卵到蛹各个发育阶段的存活率曲线如图 2 所示, 25 °C 是茶银尺蠖生长发育最适合的温度, 而高温 31 °C 不利于茶银尺蠖存活。在 13、16、19、22、25、28 和 31 °C 这 7 个恒温下卵-蛹的总存活率分别为 50.31%、47.21%、60.27%、48.30%、69.77%、36.96%和 12.67% (表 1, 图 2)。

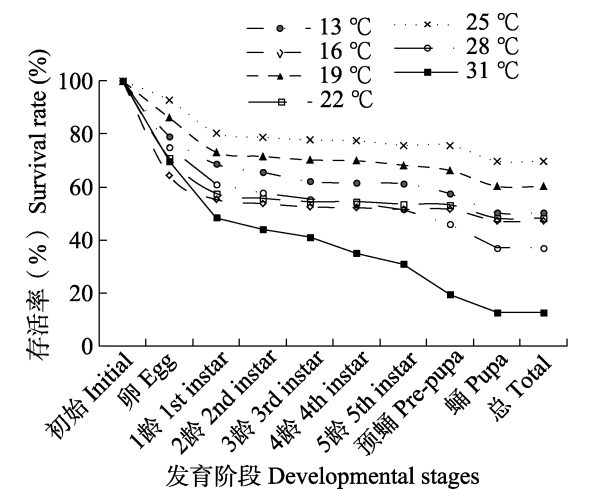


图 2 不同温度下茶银尺蠖不同发育阶段的存活率
Fig. 2 Survival rates of different stages of *Scopula subpunctaria* under different temperatures

3 讨论

温度是影响昆虫生长发育及繁殖的重要因素之一。目前国内已经有大量报道表明温度影响昆虫的生长发育、生存及繁殖及昆虫种群的数量动态变化等 (Cui *et al.*, 2018; 李栋等, 2019; 陈元生等, 2020; 杜文梅等, 2020; 吕建华等, 2020; 唐润轩等, 2020)。李栋等 (2019) 研究表明, 在 15-30 °C 的范围内, 番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* 各虫态的发育历期随温度升高而逐渐缩短; 25 °C 下幼虫期存活率、成虫前期存活率、雌虫总产卵量、净生殖率、内禀增长率和周限增长率均最大。Cui 等 (2018) 研究了不同温度 (22、25、28、31 和 34 °C) 对苜蓿夜蛾 *Heliothis virescens* 生长发育、存活率和产卵量的影响, 结果表明苜蓿夜蛾的发育时间随着温度升高而逐渐缩短。唐润轩等 (2020) 发现梨园梨小食心虫 *Grapholita molesta* 种群数量与梨园每日最高气温呈显著正相关, 其生长发育和繁殖速度与温度呈显著正相关。在适宜温度范围内, 昆虫的发育历期随着温度升高而逐渐缩短 (陈元生等, 2020; 杜文梅等, 2020; 吕建华等, 2020)。本研究也发现温度对茶银尺蠖的生长发育有显著影响, 发

育历期随着温度升高而逐渐缩短,与葛超美等(2016)对灰茶尺蠖生长发育起点温度和有效积温的研究一致。

不同昆虫种类对温度的适应范围不尽相同,极端温度会影响昆虫对温度的敏感度,从而影响昆虫耐热或耐寒性的进化,导致物种的地理分布(Buckley and Huey, 2016)。在适宜温区(15.6-32.5 °C),不同种类的昆虫生长发育和产卵的最适温度也不一样。Geng 和 Jung (2017)研究了温度对金纹细蛾 *Phyllonorycter ringoniella* 成虫寿命和产卵量的影响,发现雌成虫在低温 15.6 °C 下的产卵量最高(65.2 粒/雌成虫),寿命最长(18.3 d)。Ju 等(2011)研究了温度对悬铃木方翅网蝽生长发育和种群增长的影响,结果发现悬铃木方翅网蝽发育时间随着温度升高而逐渐缩短,30 °C 是最适合种群生长发育的最适温度。Nishi 和 Takahashi (2002)研究了温度对 *Amphibolus venator* 的产卵和发育的影响,结果发现成虫在 35 °C 下的产卵量最高(52.1 粒/雌成虫),但适合种群生长发育和繁殖最适温度在 32.5 °C 左右。本研究发现 25 °C 是最适合茶银尺蠖生长发育的温度。

昆虫的生长发育、繁殖和种群发生的过程中不仅会受到温度的影响,同时还会受到湿度、光周期、食料以及天敌等其他因素的影响(邸宁等, 2018; 苏湘宁等, 2019; 戴钊萱等, 2020; Miki *et al.*, 2020)。苏湘宁等(2019)研究了不同人工饲料配方、不同温湿度条件下草地贪夜蛾的生长发育及繁殖情况,发现温度 27 °C、相对湿度 70%,光周期 16L:8D 条件下,采用配方 4(玉米粉 150 g、黄豆粉 87 g、酵母粉 30 g、干酪素 15 g、蔗糖 10 g、蒸馏水 685 g、琼脂粉 15 g、抗坏血酸 2.2 g、胆固醇 0.2 g、肌醇 0.1 g、山梨酸 1 g、氯化胆碱 0.5 g、对羟基苯甲酸甲酯 1.4 g、复合维生素 B 0.5 g、韦氏盐 0.1 g 和菜籽油 2 g)进行幼虫饲养最好,发育历期最短,雌虫产卵量最高。邸宁等(2018)研究了温度、湿度、饲养密度和饲料配方对米蛾生长发育和繁殖的影响,结果表明,在温度 25-28 °C,相对湿度 72%-82%、饲养密度为 8 000-10 000 粒/kg 饲料时,米蛾的

发育历期最短,单雌产卵量较高,最有利于米蛾的生长发育。戴钊萱等(2020)报道了不同品种玉米对草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 生长发育及繁殖的影响,发现草地贪夜蛾在甜质型玉米上具有更高的生存适合度。Miki 等(2020)报道了温度和光照能分别调节昆虫的若虫的生长发育。本文只研究了温度这一主要环境因子对茶银尺蠖生长发育的影响,其他因子诸如湿度、光周期和营养等对其生长发育和繁殖的影响还需进一步研究。

本研究只测定了室内恒温下茶银尺蠖的发育速率,在自然界变温条件下昆虫的发育速率往往与恒温条件下不同(Kelsey *et al.*, 2019; 赵晨宇等, 2020),因此需要在现有的研究基础上,需要对茶银尺蠖在变温条件下及自然条件下的生长发育及种群发生动态做进一步研究。此外,温度不仅对昆虫生长发育和成虫产卵量有影响,而且对昆虫的酶活力、生殖交配及飞行等方面也有显著的影响(Berger *et al.*, 2008; 乔利等, 2015; 唐继洪等, 2016)。因此,温度对茶银尺蠖成虫交配行为及成虫飞行等方面的影响也需要进一步研究。

本文研究了不同温度条件下雌雄茶银尺蠖各个发育阶段的发育历期,首次报道了温度对茶银尺蠖卵、各龄幼虫、预蛹和蛹的发育历期的影响,测定了茶银尺蠖的发育起点温度和有效积温。温度过高或过低均不利于茶银尺蠖生长发育和存活,25 °C 是有利于茶银尺蠖生长发育的最适温度。为茶银尺蠖的室内饲养和其他相关基础研究提供了重要保障,也为茶银尺蠖的田间种群数量增长、年发生代数 and 发生高峰期预测预报及田间防治提供重要理论依据。

参考文献 (References)

- Berger D, Walters RJ, Gotthard K, 2008. What limits insect fecundity? Body size-and temperature-dependent egg maturation and oviposition in a butterfly. *Functional Ecology*, 22(3): 523-529.
- Buckley LB, Huey RB, 2016. How extreme temperatures impact organisms and the evolution of their thermal tolerance. *Integrative and Comparative Biology*, 56(1): 98-109.

- Chen YS, Li X, Deng BP, 2020. Growth and development of *Leptocybe invasa* as affected by environmental temperature. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 35(5): 545–551. [陈元生, 李欣, 邓必平. 2020. 温度对桉树枝瘿姬小蜂生长发育的影响. 福建农业学报, 35(5): 545–551.]
- Cui J, Zhu SY, Bi R, Xu W, Gao Y, Shi SS, 2018. Effect of temperature on the development, survival, and fecundity of *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*, 111(4): 1940–1946.
- Dai QX, Li ZY, Tian YJ, Zhang ZF, Wang L, Lu YY, Li YZ, Chen KW, 2020. Effects of different corn varieties on development and reproduction of *Spodoptera frugiperda*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 31(10): 3273–3281. [戴钊萱, 李子园, 田耀加, 张振飞, 王磊, 陆永跃, 李有志, 陈科伟, 2020. 不同品种玉米对草地贪夜蛾生长发育及繁殖的影响. 应用生态学报, 31(10): 3273–3281.]
- Di N, Wei YL, Wang S, Guo XJ, Zhang F, 2018. Optimization of artificial rearing technology for *Corcyra cephalonica* Stainton. *Chinese Journal of Biological Control*, 34(6): 831–837. [邸宁, 魏瑜岭, 王甦, 郭晓军, 张帆, 2018. 米蛾人工饲养技术优化. 中国生物防治学报, 34(6): 831–837.]
- Du WM, Guo RT, Pan Y, Ruan CC, Zhang JJ, 2020. Population life table about *Trichogramma japonicum* reared on eggs of *Mythimna separate* under different temperatures. *Journal of Environmental Entomology*, 42(1): 29–35. [杜文梅, 郭若天, 潘宇, 阮长春, 张俊杰, 2020. 不同温度下稻螟赤眼蜂在黏虫卵上的种群生命表. 环境昆虫学报, 42(1): 29–35.]
- Gao JL, Zhang JS, Tang YL, 2016. The trapping effect of sex pheromone trap on *Scopula subpunctaria*. *Modernizing Agriculture*, 2016(12): 44–45. [高剑龙, 张炯森, 唐燕玲, 2016. 信息素诱捕器对茶银尺蠖的诱捕试验. 现代化农业, 2016(12): 44–45.]
- Ge CM, Yin KS, Tang MJ, Xiao Q, 2016. Developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of *Ectopis grisescens*. *Plant Protection*, 42(6): 110–112. [葛超美, 殷坤山, 唐美君, 肖强, 2016. 灰茶尺蠖发育起点温度和有效积温的研究. 植物保护, 42(6): 110–112.]
- Geng S, Hou H, Wang G, Jung C, Yin J, Qiao L, 2021. Temperature-dependent oviposition model of *Scopula subpunctaria* (Lepidoptera: Geometridae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 24(3): 948–953.
- Geng S, Jung C, 2017. Effect of temperature on longevity and fecundity of *Phyllonorycter ringoniella* (Lepidoptera: Gracillariidae) and its oviposition model. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 20(4): 1294–1300.
- Geng S, Jung C, 2018a. Temperature-dependent development of immature *Phyllonorycter ringoniella* (Lepidoptera: Gracillariidae) and its stage transition models. *Journal of Economic Entomology*, 111(4): 1813–1823.
- Geng S, Jung C, 2018b. Temperature-dependent development of overwintering pupae of *Phyllonorycter ringoniella* and its spring emergence model. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 21(3): 829–835.
- Guo HW, Luo ZX, 2019. The green inchworm, *Scopula subpunctaria* in tea plantation. *China Tea*, 41(9): 15–16. [郭华伟, 罗宗秀, 2019. 茶园中的青色拱拱虫——茶银尺蠖. 中国茶叶, 41(9): 15–16.]
- He LM, Ge SS, Chen YC, Wu QL, Jiang YY, Wu KM, 2019. The developmental threshold temperature, effective accumulated temperature and prediction model of developmental duration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Plant Protection*, 45(5): 18–26. [何莉梅, 葛世帅, 陈玉超, 吴秋琳, 姜玉英, 吴孔明, 2019. 草地贪夜蛾的发育起点温度, 有效积温和发育历期预测模型. 植物保护, 45(5): 18–26.]
- Hu WJ, Chen WL, Wei W, Xu XQ, 2010. Scanning electron microscopic observation of sensilla on the antenna of male adult *Scopula subpunctaria*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(5): 938–940. [胡文静, 陈文龙, 韦卫, 许晓青, 2010. 茶银尺蠖雄蛾触角的扫描电镜观察. 昆虫知识, 47(5): 938–940.]
- Hu WJ, Chen WL, Wei W, 2011. Comparative studies on ultrastructure of sex pheromone gland in female *Scopula subpunctaria* at different developmental stages. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(6): 1786–1791. [胡文静, 陈文龙, 韦卫, 2011. 二个不同发育阶段茶银尺蠖雌蛾性腺超微结构的比较研究. 应用昆虫学报, 48(6): 1786–1791.]
- Ju R, Wang F, Li B, 2011. Effects of temperature on the development and population growth of the sycamore lace bug, *Corythucha ciliata*. *Journal of Insect Science*, 11(16): 1–12.
- Kelsey AM, Mehmet K, Ivan M, David AR, Mark SH, 2019. The influence of temperature variation on life history parameters and thermal performance curves of *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae), a parasitoid of the asian citrus psyllid (Hemiptera: Liviidae). *Journal of Economic Entomology*, 112(4): 1560–1574.
- Li D, Li X W, Ma L, Fu KY, Ding XH, Guo WC, Lv YB, 2019. Effects of temperature on the growth, development and reproduction of the tomato leaf miner, *Tuta absoluta*. *Acta Entomologica Sinica*, 62(12): 1417–1426. [李栋, 李晓维, 马琳, 付开赞, 丁新华, 郭文超, 吕要斌, 2019. 温度对番茄潜叶蛾生长发育和繁殖的影响. 昆虫学报, 62(12): 1417–1426.]
- Liu QP, Yuan ZL, Luo L, 2020. Study on the developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of *Creobroter nebulosa*. *China Plant Protection*, 40(3): 32–36, 44. [刘钦朋, 袁忠林, 罗兰, 2020. 云眼斑螳发育起点温度和有效积温的研究. 中国植保导刊, 40(3): 32–36, 44.]
- Liu YH, Liu J, Yan XF, He Y, 2019. Effects of temperature on the growth, development and reproduction of *Acleris fimbriana* Thunberg (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Forest and*

- Environment*, 39(4): 444–448. [刘永华, 刘娟, 阎雄飞, 贺英, 2019. 温度对黄斑长翅卷叶蛾生长发育及繁殖的影响. 森林与环境学报, 39(4): 444–448.]
- Lv JH, Huang ZW, Shi Y, Kang YL, 2020. Influences of different temperatures on the growth and reproduction of *Tribolium castaneum*. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 35(1): 132–136. [吕建华, 黄宗文, 史雅, 康宇龙, 2020. 不同温度对赤拟谷盗生长发育和繁殖的影响. 中国粮油学报, 35(1): 132–136.]
- Ma MR, Cao H, Shen JX, Bao KX, Liu C, Cui JZ, 2020. Threshold temperature and effective accumulated temperature of *Pediobius yunnanensis* Liao. *Plant Protection*, 46(3): 194–197. [马梦然, 曹鹤, 申家轩, 暴可心, 刘程, 崔建州, 2020. 云南派姬小蜂的发育起点温度和有效积温. 植物保护, 46(3): 194–197.]
- Ma T, Shi X, Lin N, Wang Z, Xiao Q, Sun Z, Wen X, 2019. Temporal pattern of adult emergence and sexual behavior of *Scopula subpunctaria* (Lepidoptera: Geometridae). *Phytoparasitica*, 47(1): 17–29.
- Miki T, Shinohara T, Chafino S, Noji S, Tomioka K, 2020. Photoperiod and temperature separately regulate nymphal development through JH and insulin/TOR signaling pathways in an insect. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(10): 5525–5531.
- Nishi A, Takahashi K, 2002. Effects of temperature on oviposition and development of *Amphibolus venator* (Klug) (Hemiptera: Reduviidae), a predator of stored product insects. *Applied Entomology and Zoology*, 37(3): 415–418.
- Qiao L, Qin DZ, Lu ZC, Liu XC, Lv LZ, Wu JX, 2015. Effects of temperature on survival rate and protection enzymes of *Empoasca onukii* Matsuda. *Journal of Plant Protection*, 42(2): 223–228. [乔利, 秦道正, 卢兆成, 刘祥臣, 吕立哲, 仵均祥, 2015. 温度对茶小绿叶蝉成虫存活率及保护酶系的影响. 植物保护学报, 42(2): 223–228.]
- SAS Institute, 2013. SAS/STAT User's Guide: Statistics, Version 9. 3. SAS Institute, N. C. USA. <http://support.sas.com/documentation/cdl/en/statug/63962/HTML/default/viewer.htm#titlepage.htm>.
- Su XN, Li CY, Huang SH, Liu WL, Zhang YP, Pan ZP, 2019. Optimization of artificial diet and rearing condition of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). *Journal of Environmental Entomology*, 41(5): 992–998. [苏湘宁, 李传瑛, 黄少华, 刘伟玲, 章玉苹, 潘志萍, 2019. 草地贪夜蛾人工饲料及饲养条件的优化. 环境昆虫学报, 41(5): 992–998.]
- Tang JH, Cheng YX, Luo LZ, Jiang XF, Zhang L, 2016. Effects of age, temperature and relative humidity on free flight activity of the beet webworm, *Loxostege sticticalis*. *Plant Protection*, 42(2): 79–83. [唐继洪, 程云霞, 罗礼智, 江幸福, 张蕾, 2016. 蛾龄、温度和相对湿度对草地螟自主飞行能力的影响. 植物保护, 42(2): 79–83.]
- Tang RX, Tang QY, Zhang J, Liu XX, Zhang QW, Li Z, 2020. Impact analysis of ambient temperature on occurrence dynamics of *Grapholita molesta* (Busck) in pear orchard. *Northern Horticulture*, 2020(11): 25–31. [唐润轩, 谭秋月, 张璟, 刘小侠, 张青文, 李贞, 2020. 温度对梨园梨小食心虫发生动态的影响分析. 北方园艺, 2020(11): 25–31.]
- Yi M, 1977. The study report of *Scopula subpunctaria*. *The Bulletin of Tea Technology*, 1977(7): 9–12. [佚名, 1977. 茶银尺蠖研究初报. 茶叶科技简报, 1977(7): 9–12.]
- Zhang FM, Hong F, Pan PL, Yin J, Zhao Q, Jin YL, 2019. Ultramorphology of sensilla on the proboscis in adults of two Geometridae moths. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 48(5): 85–90. [张方梅, 洪枫, 潘鹏亮, 尹健, 赵琦, 金银利, 2019. 2种尺蠖成虫口器感器超微结构的观察. 河南农业科学, 48(5): 85–90.]
- Zhang HM, Yin YQ, Zhao XQ, Li XY, Wang Y, Liu Y, Chen FS, Chen AD, 2020. The growth and development characteristics of *Spodoptera frugiperda* under different temperature conditions. *Journal of Environmental Entomology*, 42(1): 52–59. [张红梅, 尹艳琼, 赵雪晴, 李向永, 王燕, 刘莹, 陈福寿, 谌爱东, 2020. 草地贪夜蛾在不同温度条件下的生长发育特性. 环境昆虫学报, 42(1): 52–59.]
- Zhang JQ, Yao Y, 1997. Growth and development of mugwort looper *Asolis selenaria* and determination of the losses caused by it. *Newsletter of Sericultural Science*, 1997(2): 13–17. [张建强, 姚艳, 1997. 青尺蠖生长发育特性及危害损失测定. 蚕学通讯, 1997(2): 13–17.]
- Zhang W, Shen L, Jiang F, Li G, 2009. The outbreak causes and prevention of *Scopula subpunctaria* in Sichuan province in 2009. *Science and Technology of Sichuan Agriculture*, 2009(8): 38–39. [张伟, 沈丽, 蒋凡, 李刚, 2009. 四川省2009年茶银尺蠖爆发原因及防治. 四川农业科技, 2009(8): 38–39.]
- Zhang YJ, Wang YL, Dong ZS, Xu XJ, Zheng XL, Lu W, 2016. Developmental threshold and effective accumulative temperature of *Diaphania angustalis*. *Plant Protection*, 42(6): 113–115. [张玉静, 王艳璐, 董子舒, 顾燕萍, 许小娟, 郑霞林, 陆温, 2016. 绿翅绢野螟发育起点温度和有效积温的研究. 植物保护, 42(6): 113–115.]
- Zhao CY, Li XC, Cui J, Gao Y, Shi SS, 2020. Effects of fluctuating temperature on the growth, development and reproduction of *Mamestra brassicae* (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomologica Sinica*, 63(9): 1108–1116. [赵晨宇, 李新畅, 崔娟, 高宇, 史树森, 2020. 变温对甘蓝夜蛾生长发育和繁殖的影响. 昆虫学报, 63(9): 1108–1116.]