

温度对浙江天童国家森林公园 9 种鳞翅目昆虫繁殖力的影响*

景 军^{1,2} 苏 超^{1,2} 方 燕¹ 李 恺^{1,2**}

(¹华东师范大学生命科学学院, 上海 200241; ²上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室, 上海 200241)

摘 要 设置 16、19、22、25、28 和 31 ℃ 6 个温度梯度条件, 研究了温度对浙江天童国家森林公园 9 种鳞翅目昆虫繁殖力的影响. 结果表明: 9 种鳞翅目昆虫在 19~28 ℃ 范围内可顺利产卵并孵化, 随温度升高成虫的产卵前期缩短; 四川尾尺蛾等 8 种昆虫在 22 ℃ 时繁殖力最强, 之美苔蛾最大繁殖力出现在 25 ℃; 9 种昆虫的卵期随温度升高而缩短; 产卵同步性和卵孵化同步性最大值均出现在较高的温度条件下. 四川尾尺蛾卵的发育起点温度较低, 为 9.52 ℃, 其他 8 种昆虫卵的发育起点温度在 13.32~14.72 ℃; 四川尾尺蛾卵的有效积温为 120.82 日·度, 显著高于其他 8 种昆虫 (45.09~68.30 日·度). 研究得到的有效积温回归方程可初步用于 9 种昆虫发生的预测.

关键词 鳞翅目 卵孵化 有效积温 繁殖力

文章编号 1001-9332(2014)03-0819-06 **中图分类号** Q968 **文献标识码** A

Effects of temperature on fecundity of nine lepidopteran species in Tiantong National Forest Park, Zhejiang Province, China. JING Jun^{1,2}, SU Chao^{1,2}, FANG Yan¹, LI Kai^{1,2} (¹School of Life Science, East China Normal University, Shanghai 200241, China; ²Shanghai Key Laboratory for Urban Ecology Processes and Eco-Restoration, Shanghai 200241, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2014, 25(3): 819-824.

Abstract: Detailed experiments were carried out to investigate the effects of temperature on fecundity of nine lepidopteran species in Tiantong National Forest Park, Zhejiang Province, China. In the temperature range of 19-28 ℃, nine lepidopteran moths laid eggs and the eggs hatched successfully, and the preoviposition period was shortened with the rising of temperature. The largest fecundity of *Ourapteryx ebuleata szechuana* and other seven lepidopteran species occurred at 22 ℃, while that of *Miltochrista ziczac* occurred at 25 ℃. The period of the embryonic stages of the nine lepidopteran species were shortened with the rising of the temperature. *O. ebuleata szechuana* had a lower developmental threshold temperature at 9.52 ℃ and a higher effective accumulated temperature of 120.82 degree-day, while the other 8 species got the developmental threshold temperature between 13.32 ℃ to 14.72 ℃, and the effective accumulated temperature between 45.09 degree-day to 68.30 degree-day. The regressive equation of effective accumulated temperature obtained in the research could be used to preliminarily forecast the occurring of the nine lepidopterans.

Key words: Lepidoptera; egg-hatching; effective accumulated temperature; fecundity.

近年来, 由于温室气体排放等原因导致全球气温逐渐上升. 据 IPCC (2007) 报道, CO₂ 浓度已由 1700 年的 280 μL · L⁻¹ 上升到 2005 年的 379 μL · L⁻¹, 预计到 21 世纪末 CO₂ 浓度将加倍; 全球平均地表气温在过去 100 年 (1906—2005 年) 升高了

0.74 ℃, 预计到 21 世纪末全球平均地表气温将升高 1.1~6.4 ℃^[1].

昆虫作为变温动物, 其生长发育等生命活动受温度影响显著. 全球气温升高将会导致其生长发育速率的加快, 甚至使其世代数增加^[2-6]; 同时, 温度升高还会改变生物多样性的分布格局, 为物种入侵和扩散提供有利条件^[7-9]. 不管是生长发育速率加快、世代数增加, 还是新物种的入侵都会造成虫害大

* 上海市青年科技启明星跟踪计划项目 (10QH1400700) 和浙江天童森林生态系统国家野外科学观测研究站开放基金项目资助.

** 通讯作者. E-mail: kaili@bio.ecnu.edu.cn

2013-06-17 收稿, 2013-12-27 接受.

规模爆发.因此,对害虫发生规模的预测非常必要且迫切^[10-11].

由于温度上升导致的虫害发生在国内外的报道中屡见不鲜^[12-17],利用人工气候箱培养昆虫,测试其各发育阶段的起点温度和有效积温是目前较常用的手段^[18-20].昆虫的有效防治时期是越冬期、各代成虫产卵后和幼虫孵化初期^[21].本研究在建于浙江天童国家森林公园的华东师范大学浙江天童森林生态系统国家野外科学观测研究站中进行,利用人工气候培养箱,设置不同的温度梯度,培养浙江天童国家森林公园中常见的9种鳞翅目昆虫,观测温度对其繁殖力的影响,为害虫发生预测和防治提供依据.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

浙江天童国家森林公园位于浙江省宁波市鄞州区东南部(29°48' N, 121°47' E),面积 349 hm²,主峰太白山海拔 653 m,一般山峰海拔约 300 m.属温暖湿润的亚热带季风气候,全年温和多雨,四季分明.年平均气温 16.2 °C,最热月 7 月的平均气温为 28.1 °C,最冷月 1 月的平均气温为 4.2 °C,大于 10 °C 的年积温为 5166.2 °C,无霜期 237.8 d.年平均相对湿度 82%,年均蒸发量 1320.1 mm.年均降雨量为 1374.7 mm,其降水季节分配不均匀,春夏降水较多,冬季降水较少.森林公园内植被保存良好,植物资源极为丰富,共有种子植物 148 科 506 属 968 种,地带性植被为以栲树(*Castanopsis fargesii*)、米槠(*Castanopsis carlesii*)和木荷(*Schima superba*)等为建群种组成的常绿阔叶林.通过对浙江天童国家森林公园昆虫多样性初步调查,分类鉴定出 17 目 154 科 364 属 431 种昆虫,昆虫资源丰富^[22].

1.2 研究方法

1.2.1 成虫获取 试验于 2011 年和 2012 年的 3—6 月在华东师范大学浙江天童森林生态系统国家野外科学观测研究站中进行.野外寻找浙江天童国家森林公园中常见的 9 种春季鳞翅目昆虫幼虫并带回实验室饲养,至其羽化为成虫留待试验,每种幼虫收集 500 只以上.9 种鳞翅目昆虫分别为尺蛾科(Geometridae)尾尺蛾属(*Ourapteryx*)的四川尾尺蛾(*O. ebuleata szechuana*)和栉尾尺蛾(*O. maculicaudaria*);灯蛾科(Arctiidae)美苔蛾属(*Mitochrista*)的优美苔蛾(*M. striata*)、殊美苔蛾(*M. pulchra*)、之美苔蛾(*M. ziczac*),土苔蛾属(*Eilema*)的圆斑土苔蛾(*Ei. signata*),痣苔蛾属(*Stigmatophora*)的黄痣苔蛾

(*S. flava*);草螟科(Crambidae)镰翅野螟属(*Circo-botys*)的竹金黄镰翅野螟(*C. aurealis*);螟蛾科(Pyrallidae)歧角螟属(*Endotricha*)的纹歧角螟(*En. icelusalis*).

1.2.2 试验方法 试验在 FPQ-280C-30D 多段人工气候培养箱中进行,分别设置 16、19、22、25、28 和 31 °C 等 6 个温度,温度波动为±1 °C,光周期为 L:D=12:12,光照强度为 18000 lx,相对湿度为(80±5)%.

取同一天羽化的成虫,将其按照雌雄比例 1:1 分组,每组 6 只,分为 18 组,用直径为 25 cm、深度为 12 cm 的塑料盒饲养.分组后的成虫平均分配在 6 个人工气候箱中,用脱脂棉蘸蔗糖水为其提供营养.

每天 7:00 和 19:00 两次观察产卵情况和卵的孵化情况,并为其更换脱脂棉.记录每次观察的产卵量和孵化量.

1.3 数据处理

根据试验记录数据计算每个温度下每种昆虫的产卵前期、卵期、孵化率等指标.各项指标数据以 mean±SD 表示,SD 越小同步性越高.

产卵前期:成虫羽化到开始产卵时间;卵期:每个卵从产出到孵化的时间.

卵的发育起点温度和有效积温采取回归法得到,即 $T = T_0 + KV$.其中: T 为实际温度; T_0 为卵孵化的起点温度; K 为卵孵化的有效积温; V 为卵孵化速率, $V = 1/\text{卵期}$.

采用单因素方差分析比较同种昆虫在不同温度处理下的发育情况;采用线性回归计算每种昆虫卵孵化的发育起点温度、有效积温和回归方程;采用 Excel 软件进行数据统计,SPSS 18.0 软件进行数据分析.

2 结果与分析

2.1 温度变化对成虫产卵前期的影响

温度变化对成虫产卵前期会有一定的影响.在 16 °C 和 31 °C 条件下,9 种昆虫都未产卵,表明温度过高或过低时均会限制这 9 种鳞翅目昆虫的繁殖.在 19~28 °C 范围内,9 种昆虫都能交配产卵,且除优美苔蛾外,8 种昆虫产卵前期随温度的升高而缩短,各处理温度下差异显著.优美苔蛾在低于 25 °C 时产卵前期随温度的升高而缩短,高于 25 °C 时产卵前期延长;栉尾尺蛾和纹歧角螟分别在第 10.7 和第 14.7 天开始产卵,开始时间较晚;优美苔蛾、殊美苔蛾、圆斑土苔蛾的产卵前期较短.温度变化会影响 9 种昆虫的产卵同步性.在 19~28 °C 范围内,四川尾

尺蛾、之美苔蛾、黄痣苔蛾和竹金黄镰翅野螟的产卵同步性随温度升高而增大,纹歧角螟的产卵同步性在 25 ℃时最大,温度上升或下降时都会导致同步性减小,圆斑土苔蛾的产卵同步性随温度升高而减小,其他 3 种昆虫的产卵同步性与温度变化关系不大,但总体而言,9 种昆虫的产卵同步性最大值出现在较高温度条件下(表 1)。

2.2 温度对卵期的影响

温度变化对卵期的影响较大,在 19 ~ 28 ℃范围内随温度升高 9 种昆虫的卵期缩短,各处理温度下差异显著,28 ℃时的卵期比 19 ℃时缩短了 1 ~ 2

倍。四川尾尺蛾和竹金黄镰翅野螟卵期较长,为 13.5 和 13.6 d,纹歧角螟和 5 种苔蛾的卵期差别不大,在 11.2 ~ 12.9 d,栉尾尺蛾的卵期最短,只有 9.0 d。在此温度范围内,四川尾尺蛾、圆斑土苔蛾、黄痣苔蛾、栉尾尺蛾、竹金黄镰翅野螟和纹歧角螟随温度上升卵孵化的同步性也呈现增高的趋势,而殊美苔蛾和之美苔蛾的卵孵化同步性分别在 25 和 22 ℃时最高,温度升高或降低都会导致卵孵化同步性的降低,优美苔蛾的卵孵化同步性与温度没有明显的对应关系(表 1)。

2.3 温度对产卵量和孵化率的影响

表 1 温度对 9 种鳞翅目昆虫产卵前期和卵期的影响

Table 1 Effects of temperature on egg-laying-timing and egg stage of nine lepidopteran species (mean±SD, d)

种类 Species	产卵前期 Egg-laying-timing				卵期 Egg stage			
	19 ℃	22 ℃	25 ℃	28 ℃	19 ℃	22 ℃	25 ℃	28 ℃
四川尾尺蛾 <i>O. ebuleata szechuana</i>	6.2±0.6a	4.4±0.5b	3.6±0.5c	3.0±0.4d	13.5±3.9a	9.1±1.3b	7.8±1.1c	6.3±0.7d
栉尾尺蛾 <i>O. maculicaudaria</i>	10.7±1.1a	5.0±0.6b	4.6±0.7c	2.5±0.4d	9.0±1.1a	6.1±0.9b	3.7±0.5c	3.4±0.5d
优美苔蛾 <i>M. striata</i>	4.0±0.2a	3.0±0.2b	1.9±0.2d	2.4±0.3c	12.9±0.5a	7.7±0.7b	5.2±0.4c	4.8±0.7d
殊美苔蛾 <i>M. pulchra</i>	3.9±0.4a	2.9±0.3b	2.78±0.4c	2.0±0.3d	12.5±1.4a	6.3±0.7b	4.9±0.7c	4.4±0.8d
之美苔蛾 <i>M. ziczac</i>	7.0±0.6a	3.8±0.4b	2.5±0.3c	1.5±0.2d	12.0±1.2a	5.8±1.0b	4.5±1.0c	3.3±1.2d
圆斑土苔蛾 <i>Ei. signata</i>	3.6±0.3a	3.0±0.3b	2.5±0.4c	2.4±0.4d	11.6±1.0a	7.0±0.9b	4.5±0.6c	4.2±0.5d
黄痣苔蛾 <i>S. flava</i>	6.1±0.7a	3.0±0.4b	2.6±0.4c	1.7±0.3d	11.2±1.1a	4.9±0.8b	4.9±0.8c	3.2±0.6d
竹金黄镰翅野螟 <i>C. aurealis</i>	9.3±0.9a	5.2±0.7b	2.2±0.3b	1.5±0.3d	13.6±1.5a	10.0±1.4b	5.9±1.1c	4.6±0.9d
纹歧角螟 <i>En. icelusalis</i>	14.7±1.6a	9.9±1.4b	6.1±0.9b	4.9±1.4d	11.7±1.3a	8.2±1.0b	5.2±0.9c	4.2±0.8d

同行不同字母表示差异显著 ($P<0.05$) Different letters in the same line meant significant difference at 0.05 level. 下同 The same below.

表 2 温度对 9 种鳞翅目昆虫产卵量和孵化率的影响

Table 2 Effects of temperature on number and hatching rate of eggs of nine lepidopteran species

种类 Species	19 ℃		22 ℃		25 ℃		28 ℃	
	产卵量 Egg laying amount	孵化率 Hatching rate (%)	产卵量 Egg laying amount	孵化率 Hatching rate (%)	产卵量 Egg laying amount	孵化率 Hatching rate (%)	产卵量 Egg laying amount	孵化率 Hatching rate (%)
四川尾尺蛾 <i>O. ebuleata szechuana</i>	330±28c	80.0	714±26a	91.4	678±19b	94.1	273±13d	58.0
栉尾尺蛾 <i>O. maculicaudaria</i>	123±11d	88.6	287±22a	94.9	222±15b	95.8	178±9c	71.4
优美苔蛾 <i>M. striata</i>	242±7c	77.9	750±27a	91.8	567±26b	99.1	160±11d	64.4
殊美苔蛾 <i>M. pulchra</i>	206±13c	75.9	419±31a	96.3	345±19b	98.0	151±9d	50.6
之美苔蛾 <i>M. ziczac</i>	78±9d	42.8	318±43b	85.5	463±38a	90.7	119±12c	53.2
圆斑土苔蛾 <i>Ei. signata</i>	130±8d	91.3	455±22a	94.2	375±24b	97.4	259±18c	47.2
黄痣苔蛾 <i>S. flava</i>	170±15c	83.5	576±51a	93.2	443±29b	94.3	117±16d	74.8
竹金黄镰翅野螟 <i>C. aurealis</i>	183±17c	82.5	617±33a	95.5	323±18b	96.2	53±4d	69.2
纹歧角螟 <i>En. icelusalis</i>	38±5d	89.5	379±25a	94.3	115±12b	97.4	87±8c	63.1

表 3 9 种鳞翅目昆虫卵孵化起点温度和有效积温
Table 3 Developmental threshold temperature and effective accumulated temperature in egg-hatching of nine lepidopteran species

昆虫种类 Insect species	发育起点温度 Developmental threshold temperature (℃)	有效积温 EAT (degree-day)	回归方程 Regressive equation	相关系数 Correlation coefficient	P
四川尾尺蛾 <i>O. ebuleata szechuana</i>	9.52±1.51	120.82±12.40	$T=9.52+120.82V$	0.990	<0.05
栉尾尺蛾 <i>O. maculicaudaria</i>	13.87±2.28	47.05±10.24	$T=13.87+47.05V$	0.956	<0.05
优美苔蛾 <i>M. striata</i>	13.40±2.36	68.30±14.71	$T=13.40+68.30V$	0.957	<0.05
殊美苔蛾 <i>M. pulchra</i>	13.32±2.50	62.04±14.07	$T=13.32+62.04V$	0.952	<0.05
之美苔蛾 <i>M. ziczac</i>	14.72±0.83	46.41±3.94	$T=14.72+46.41V$	0.993	<0.05
圆斑土苔蛾 <i>Ei. signata</i>	13.80±2.37	57.80±12.97	$T=13.80+57.80V$	0.953	<0.05
黄痣苔蛾 <i>S. flava</i>	14.63±2.07	45.09±9.55	$T=14.63+45.09V$	0.958	<0.05
竹金黄镰翅野螟 <i>C. aurealis</i>	14.45±1.02	64.11±6.73	$T=14.45+64.11V$	0.989	<0.05
纹歧角螟 <i>En. icelusalis</i>	13.93±1.05	61.78±6.19	$T=13.93+61.78V$	0.990	<0.05

EAT: 有效积温 Effective accumulated temperature; T: 试验温度 Experimental temperature; V: 发育速率 Developmental rate.

温度对 9 种鳞翅目昆虫的繁殖力和卵的孵化率都有显著影响. 在 19 ~ 28 ℃ 范围内, 产卵量均随温度的上升呈现先上升后下降的趋势, 不同温度下差异显著; 除之美苔蛾最大产卵量出现在 25 ℃ 外, 其他 8 种昆虫均出现在 22 ℃. 在此温度范围内孵化率也呈现相似的趋势, 但最大孵化率均出现在 25 ℃, 且殊美苔蛾、黄痣苔蛾、栉尾尺蛾、竹金黄镰翅野螟在 22 和 25 ℃ 的孵化率差异不显著. 高温对卵孵化具有抑制作用, 28 ℃ 条件下 9 种鳞翅目昆虫的孵化率均处在较低水平(表 2).

2.4 卵的发育起点温度和有效积温

9 种鳞翅目昆虫卵的发育起点温度和有效积温存在一定的差别, 四川尾尺蛾的发育起点温度较低, 为 9.52 ℃, 其他 8 种昆虫的卵发育起点温度差别不大, 在 13.32 ~ 14.72 ℃; 而四川尾尺蛾的卵孵化有效积温为 120.82 (日·度), 远远高于其他 8 种昆虫. 9 种鳞翅目昆虫卵孵化的有效积温回归方程见表 3.

3 讨 论

昆虫属于变温动物, 温度是影响其生长发育的重要环境因子. 在长期的进化过程中, 每一种昆虫都有独特的偏好温度, Pekin^[23]研究了 20 余种瓢虫后发现, 独特的偏好温度可以作为种间比较的指标. 在适宜的温度范围内, 昆虫的发育速率随着温度的升高而加快, 从而导致发育历期的缩短甚至世代的增加; 超出适宜温度范围时, 温度上升和下降都会阻碍

和制约昆虫的生长发育, 如在 16 和 31 ℃ 时, 本试验中 9 种昆虫的繁殖活动受到抑制, 都未产卵.

研究表明, 19 ~ 28 ℃ 温度区间为 9 种鳞翅目昆虫适宜生长发育的温度范围, 在此范围内随温度的升高, 其产卵前期、卵期缩短; 较高的产卵同步性和卵孵化同步性也出现在相对较高的温度条件下. 卵期和低龄幼虫期是鳞翅目昆虫死亡率最高的阶段. 寄生类昆虫是鳞翅目昆虫卵的重要天敌. 本研究野外获取的幼虫在试验过程中超过 40% 个体由于被寄生而死亡, 在适宜生长发育的温度区间内, 9 种鳞翅目昆虫的产卵同步性随温度的升高而升高, 从而降低每个卵被寄生类昆虫寄生的风险; 卵期的缩短可以减少被寄生类天敌寄生的机会, 卵孵化同步性的提高也可以分散以其幼虫为食的捕食性天敌的捕食压力. 近年来, 全球温度持续上升, 早春植物展叶物候都有了显著提前. 昆虫卵期随温度的升高而缩短, 可以使卵的孵化和植物的展叶物候保持同步, 保证其幼虫能取食到营养质量较高的植物展叶期嫩叶. 这对幼虫的生长发育具有重要意义^[24].

繁殖力受温度变化影响显著. 四川尾尺蛾、优美苔蛾等 8 种昆虫的最大繁殖力出现在 22 ℃, 此时它们成虫产卵且孵化数量最多, 而之美苔蛾的最大繁殖力则出现在 25 ℃. 低于或高于最适温度时, 成虫的繁殖力都会明显下降. 28 ℃ 时 9 种昆虫卵孵化率都非常低, 可能是由于水分损失严重所致. 因为对于变温动物来说, 水分代谢具有重要意义. 高温条件会破坏个体的水分代谢和酶活性, 且高温条件下的滞

育往往不可逆转^[25].

发育起点温度和最高耐受温度是决定昆虫分布的关键因素^[1]. 春季爆发的昆虫, 其发育起点温度一般较低, 其发育状态受温度影响更为显著, 早春温度的升高会促进其生长发育, 增加其分布地内世代数或使其分布范围扩大^[26-27].

综上所述, 温度升高为春季发生昆虫的爆发提供了非常有利的条件. 在全球气温逐渐升高的趋势下对春季爆发昆虫的发育模型的研究尤为迫切. 本研究通过控制温度变化试验初步得到了 9 种鳞翅目昆虫卵孵化的有效积温回归方程以及不同温度下繁殖力和后代存活能力情况, 可初步用于其种群发生数量的预测.

参考文献

- [1] Ge F (戈 峰). Challenges facing entomologists in a changing global climate. *Chinese Journal of Applied Entomology* (应用昆虫学报), 2011, **48**(5): 1117-1122 (in Chinese)
- [2] Trnka M, Muska F, Semerádova D, *et al.* European corn borer life stage model: Regional estimates of pest development and spatial distribution under present and future climate. *Ecological Modelling*, 2007, **207**: 61-84
- [3] Yamanaka T, Tatsuki S, Shimada M. Adaptation to the new land or effect of global warming? An age-structured model for rapid voltinism change in an alien lepidopteran pest. *Journal of Animal Ecology*, 2008, **77**: 585-596
- [4] Gomi T, Adachi K, Shimizu A, *et al.* Northerly shift in voltinism watershed in *Hyphantria cunea* (Drury) (Lepidoptera: Arctiidae) along the Japan sea coast: Evidence of global warming? *Applied Entomology and Zoology*, 2009, **44**: 357-362
- [5] Gao G-Z (高桂珍), Lü Z-Z (吕昭智), Sun P (孙平), *et al.* Effects of high temperature on the mortality and fecundity of two co-existing cotton aphid species *Aphis gossypii* Glover and *Acyrtosiphon gossypii* Mordvilko. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2012, **23**(2): 506-510 (in Chinese)
- [6] Xu J-H (徐金汉), Guan X (关 雄), Huang Z-P (黄志鹏), *et al.* Effect of different combinations of temperature and humidity on the development and fecundity of *Spodoptera exigua*. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 1999, **10**(3): 335-337 (in Chinese)
- [7] Porter J. The effects of climate change on the agricultural environments for crop insect pests with particular reference to the European corn borer and grain maize// Harrington R, Stork NE eds. *Insect in a Changing Environment*. New York: Academic Press, 1995: 93-123
- [8] Cui X-H (崔旭红), Xie M (谢 明), Wan F-H (万方浩). Effects of brief exposure to high temperature on survival and fecundity of two whitefly species: *Bemisia tabaci* B-biotype and *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae). *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2008, **41**(2): 424-430 (in Chinese)
- [9] Wu G (吴 刚), Ge F (戈 峰), Wan F-H (万方浩), *et al.* Responses of invasive insects to global climate change. *Chinese Journal of Applied Entomology* (应用昆虫学报), 2011, **48**(5): 1170-1176 (in Chinese)
- [10] Dukes JS, Mooney HA. Does global change increase the success of biological invaders? *Trends in Ecology and Evolution*, 1999, **14**: 135-139
- [11] Wan F-H (万方浩), Xie B-Y (谢丙炎), Yang G-Q (杨国庆). *Invasion Biology*. Beijing: Science Press, 2011: 288-313 (in Chinese)
- [12] Logan JA, Powell JA. Ghost forests, global warming, and the mountain pine beetle (Coleoptera: Scolytidae). *American Entomologist*, 2001, **47**: 160-173
- [13] Baker RHA, Cannon RJC, MacLeod A. Predicting the potential distribution of alien pests in the UK under global climate change: *Diabrotica virgifera virgifera*. Proceedings of the BCPC International Congress: Crop Science and Technology. Alton, UK, 2003: 1201-1208
- [14] Hodar JA, Castro J, Zamora R. Pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* as a new threat for relict Mediterranean Scots pine forests under climatic warming. *Biological Conservation*, 2003, **110**: 123-129
- [15] Watson GW, Malumphy CP. *Icerya purchasi* Maskell, cottony cushion scale (Hemiptera: Margarodidae), causing damage to ornamental plants growing outdoors in London. *British Journal of Entomology and Natural History*, 2004, **17**: 105-109
- [16] Lei Z-R (雷仲仁), Zhu C-J (朱灿健), Zhang C-Q (张长青). Risk analysis of alien invasive *Liriomyza trifolii* (Burgess) in China. *Plant Protection* (植物保护), 2007, **33**(1): 37-41 (in Chinese)
- [17] Hu S-Q (胡树泉), Xu X-R (徐学荣), Zhou W-C (周卫川), *et al.* Potential geographical distribution model of *Solenopsis invicta* Buren in China. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University* (Natural Science) (福建农林大学学报·自然科学版), 2008, **37**(2): 205-209 (in Chinese)
- [18] Zhou Z-X (周昭旭), Luo J-C (罗进仓), Lü H-P (吕和平), *et al.* Influence of temperature on development and reproduction of experimental populations of the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae). *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), 2010, **53**(8): 926-931 (in Chinese)
- [19] Du Y-L (杜艳丽), Guo H-M (郭洪梅), Sun S-L (孙淑玲), *et al.* Effects of temperature on development and reproduction of the yellow peach moth, *Conogethes punctiferalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), 2012, **55**(5): 561-569 (in Chinese)
- [20] Wang J-J (王建军), Wei J-R (魏建荣), Wang Y-Z (王玉珠), *et al.* Relationship between temperature and development of *Ooencytus kuwanae* (Hymenoptera: Encyrtidae), the egg parasitoid of *Lymantria dispar* (Lepi-

doptera: Lymantriidae), with an evaluation of its offspring quality reared from eggs of the substitute host *Antheraea pernyi* (Lepidoptera: Saturniidae). *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), 2012, **55**(5): 570–574 (in Chinese)

[21] Wang O-F (王藕芳), Wang J-G (王加更), Hu H-R (胡洪仁). Reasons for great break out of *Dichocrocis punctiferalis* and the integrated defense technology in Dongyang. *China Plant Protection* (中国植保导刊), 2004, **24**(2): 23–24 (in Chinese)

[22] Song Y-C (宋永昌), Chen X-Y (陈小勇). Degradation Mechanism and Ecological Restoration of Evergreen Broad-Leaved Forest Ecosystem in East China. Beijing: Science Press, 2007 (in Chinese)

[23] Pekin VP. Thermal referendum reactions of ladybirds (Coleoptera: Coccinellidae) as a criterion for interspecies comparison. *Sibirskii Biologicheskii Zhurnal*, 1993, **4**: 9–18

[24] Kursar TA, Coley PD. Convergence in defense syndromes of young leaves in tropical rainforests. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2003, **31**: 929–949

[25] Wang Y-M (王艳敏), Wu J-X (仵均祥), Wan F-H (万方浩). Response of insects to extreme high and low temperature stresses. *Journal of Environmental Entomology* (环境昆虫学报), 2010, **32**(2): 250–255 (in Chinese)

[26] Fabina NS, Abbott KC, Gilman RT. Sensitivity of plant-pollinator-herbivore communities to changes in phenology. *Ecological Modelling*, 2010, **221**: 453–458

[27] Lu X-F (卢小凤), Huo Z-G (霍治国), Shen S-H (申双和), *et al.* Effects of climate warming on the northern distribution boundary of brown planthopper (*Nilaparvata lugens* (Stål)) overwintering in China. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2012, **31**(8): 1977–1983 (in Chinese)

作者简介 景 军, 1988 年生, 博士研究生. 主要从事昆虫生理生态学研究, 发表论文 2 篇. E-mail: cc416301@163.com

责任编辑 肖 红
