

DOI: 10.5846/stxb201802080343

赵志刚, 王晨彬, 王欢, 王春胜, 郭俊杰, 王胜坤. 温度对荔枝异形小卷蛾发育和繁殖的影响. 生态学报, 2019, 39(7): - .

Zhao Z G, Wang C B, Wang H, Wang C S, Guo J J, Wang S K. Effect of temperature on the development and reproduction of *Cryptophlebia ombrodelta* (Lower) (Lepidoptera: Tortricidae). Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(7): - .

温度对荔枝异形小卷蛾发育和繁殖的影响

赵志刚^{1,*}, 王晨彬², 王欢¹, 王春胜¹, 郭俊杰¹, 王胜坤¹

1 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广州 510520

2 环境保护部南京环境科学研究所, 南京 210042

摘要:荔枝异形小卷蛾的蛀梢为害是珍贵树种格木人工林健康发展的主要限制因子。依据其天然分布和潜在推广区的温度范围设置系列温度梯度, 探讨温度对荔枝异形小卷蛾发育和繁殖的综合影响。结果显示, 温度对荔枝异形小卷蛾各阶段的发育历期具有显著影响, 在研究温度范围内, 发育历期随温度升高呈显著下降趋势, 世代历期在 18℃ 时为 66.87 d, 30℃ 时降至 35.77 d。预蛹和蛹的存活率对温度的响应不敏感, 而卵、幼虫、成虫的存活率和世代存活率以及产卵量均随温度升高表现为先上升后下降的变化趋势, 且繁殖力对温度的反映较存活率敏感, 其存活率和繁殖力在 18℃ 时均最低, 分别为 41.20% 和 13.90 粒, 在 27℃ 时发育最适, 分别为 83.80% 和 45.40 粒, 在 30℃ 时虽有下降, 分别为 66.00% 和 32.40 粒, 但仍高于 18℃ 时, 即其对低温较高温敏感。荔枝异形小卷蛾完整世代发育起点温度为 5.77℃, 所需有效积温为 876.76 d °C, 其中幼虫发育所需有效积温最高, 占整个历期的 45.23%, 发育速率与温度显著正相关。根据荔枝异形小卷蛾为害方式、发育和繁殖特征分析可知, 在低温地区其幼虫期长, 但世代数少、存活率和繁殖力低, 对寄主植物受害部位的单次为害程度严重; 在高温地区则幼虫期短, 但世代数多、存活率和繁殖力高, 对寄主植物受害部位的单次为害程度低, 但更为频繁, 持续为害程度高。研究结果对于不同地区选择荔枝异形小卷蛾的防治具有借鉴意义, 同时有助于指导格木人工林的合理推广和健康发展。

关键词:荔枝异形小卷蛾; 温度; 发育; 繁殖; 格木

Effect of temperature on the development and reproduction of *Cryptophlebia ombrodelta* (Lower) (Lepidoptera: Tortricidae)

ZHAO Zhigang^{1,*}, WANG Chenbin², WANG Huan¹, WANG Chunsheng¹, GUO Junjie¹, WANG Shengkun¹

1 Research Institute of Tropical Forestry, CAF, Guangzhou, Guangzhou 510520, China

2 Nanjing Institute of Environmental Sciences of The Ministry of Environmental Protection of China, Jiangsu, Nanjing 210042, China

Abstract: The damage caused by *Cryptophlebia ombrodelta* (Lower) (Lepidoptera: Tortricidae) on the shoots *Erythrophleum fordii*, a precious species in south China, is the main restraint on this plant's plantation promotion and healthy development. The comprehensive influence of temperature on the development and reproduction of *C. ombrodelta* were investigated using a series of temperature tests, which were based on the temperature range of *E. fordii* in a natural distribution and potential extension area. The results showed that the effect of temperature on the developmental stages of *C. ombrodelta* were significant within the temperature range. The developmental stages decreased significantly with an increase in temperature; generation duration was 66.87 d at 18°C and decreased to 35.77 d at 30°C. The survival rate of eggs, larvae, and adult generation and fecundity first significantly increased then decreased with an increase in temperature; the effects of temperature on pre-pupae and pupae were not significant, and fecundity, rather than survival rates, was more sensitive to temperature. The survival rates and fecundity, at 41.20% and 13.90 eggs, respectively, were the lowest at

基金项目: 国家自然科学基金项目(31400534); 中央公益性科研院所基本专项(CAFYBB2014QB039)

收稿日期: 2018-02-08; 网络出版日期: 2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaozhigang1979@126.com

18℃, and the survival rates and fecundity, at 83.80% and 45.40 eggs, respectively, reached the maximum at 27℃; this was the most appropriate developmental temperature for *C. ombrodelta*, since the survival rates and fecundity decreased to 66.00% and 32.43 eggs, respectively, at 30℃, but the survival rates and fecundity were higher at 18℃; therefore, the survival rate and fecundity were more sensitive to low temperatures than to high temperatures. The developmental temperature threshold and the effective accumulated temperature were 5.77℃ and 876.76 d °C⁻¹, respectively. The effective accumulated temperature of larvae was the highest among the developmental stages, and the proportion of the larval stage accounted for 45.23% of the whole generation. The developmental rates were positively correlated with temperature; eggs and pupae had the fastest developmental rates, followed by pupae and adults, and that of the larvae was the slowest. The stages with faster developmental rates were more sensitive to temperature. It can be deduced that when the larval duration of *C. ombrodelta* was longer, the generation time per year was less, and the survival rate and fecundity were lower. Therefore, the damage to the bored parts of the host plant, *E. fordii*, is more serious in low temperature regions. When the larval stage of *C. ombrodelta* was relatively shorter, the generation time per year was higher, and survival rate and fecundity were higher in high temperature regions; therefore, the degree of damage to the bored parts of host plant, *E. fordii*, is lower in every generation than which in low temperature regions, but the occurrence of damage is more frequent. These results provide a reference for the prevention and control of *C. ombrodelta* in different temperature regions, which could help guide the reasonable extension and healthy development of *E. fordii* plantations.

Key Words: *Cryptophlebia ombrodelta* (Lower); temperature; development; fecundity; *Erythrophleum fordii*

温度是昆虫地理分布的主要限制因子之一,对昆虫的发育、行为和繁殖均有重要影响^[1],全球气候变暖可导致昆虫的生物学和生态学特性发生较大变化^[2-4],温度升高不但可以改变大尺度上的昆虫地理分布^[5],也可以在小尺度上改变昆虫的取食行为、发育和繁殖^[6-7],而且也将对环境-昆虫-植物三者之间的原有关系产生影响,导致植物-害虫-天敌间的长期协同进化被破坏^[2, 8]。人工林树种组成和结构相对简单,抵御异常气候和病虫害能力薄弱,而气候变化可导致林分抗虫能力进一步下降^[9]。林业经营周期长,虫害治理难度大,实现人工林虫害的自我调控是森林可持续经营的重要内容和目标^[10-11],其中掌握害虫与环境因子的关系及其可能的变化对构建人工林虫害可持续控制体系尤为重要。

气候影响树种的分布格局,气候变暖将导致树种向高海拔和高纬度等低温区域迁移^[12]。格木(*Erythrophleum fordii* Oliver)是苏木科(Caesalpinaceae)常绿阔叶树种,是我国亚热带地区的珍贵用材树种之一,在我国大陆地区天然分布在 24° N 以南地区^[13]。近年来,格木人工林发展迅速,种植范围也不断扩大,而且逐渐向北扩展,局部地区接近 26° N。多地格木人工林长期以来一直遭受荔枝异形小卷蛾(*Cryptophlebia ombr odelta* Lower,鳞翅目 Lepidoptera 卷蛾科 Tortricidae)的严重为害,其纯林受害率高达 100%,严重限制其健康发展^[14]。荔枝异形小卷蛾在河南 1 年发生 3 代,在福建 1 年发生 4—5 代^[15-16],调查发现其在广东北部其发生率和为害程度要明显低于广东中部和广西南部,初步推断温度对其发育和为害影响较大。本研究根据其天然分布区以及潜在推广区气候条件,设置系列温度梯度,探究温度对荔枝异形小卷蛾的发育和繁殖的影响,揭示其变异规律,以期指导其预测预报、合理防治期和防治方法选择,并探索格木和荔枝异形小卷蛾协同关系对温度的动态响应,为合理选择格木人工林推广范围,以及开展格木人工林虫害的营林控制技术及其生态可持续调控提供理论和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 虫源采集

荔枝异形小卷蛾采自广东省肇庆市北岭山林场铁西工区 7 年生格木人工林(112°3' E, 23°10' N),该林分虫害发生 100%。在格木人工林内采集枝梢上有虫孔且外部具黄白色碎末状物质(荔枝异形小卷蛾为害初

期症状)的枝条带回实验室。

1.2 实验设计

本实验在华南农业大学昆虫系鳞翅目实验室开展。根据格木分布区和潜在推广种植区的年平均温度以及其发育期间温度特点,设置 18℃,21℃,24℃,27℃,30℃ 等 5 个温度梯度,实验在人工气候箱内进行,相对湿度为 80%,光周期为 L15:D9。发育历期和存活率观测实验中,选择发育情况基本一致的同批次个体进行实验,其中卵、幼虫、蛹、成虫阶段每个处理各 30 个个体,25 次重复;产卵量实验中,每个处理取雌雄虫各两头进行交配产卵,10 次重复。为保证下一个阶段实验有充足的参试个体数量,每个试验重复按照 2—3 倍数量同步进行。另开展世代存活率实验,取卵 30 粒观测至其成虫全部羽化,设计 25 次重复。

1.3 实验方法

将采集的枝条置于保湿饲养盒放置在设置在人工气候箱内培养,温度 25℃,相对湿度为 80%,光周期为 L15:D9,利用格木枝条让荔枝异形小卷蛾完成发育,成虫羽化后,分别选取当日羽化的雌雄成虫各两头,同时放入 1500 mL 养虫盒内,底部放置硫酸纸,每隔一日收集一次卵纸。

收集同日生产的卵分别按照上述实验设计开展实验,培养皿放入蘸有 5% 蜂蜜水的棉球保湿。卵孵化后,取其幼虫放入培养皿,同时放入人工配置的饲料;然后,分批次开展预蛹、蛹和成虫各阶段发育实验及观测。

每天定时观察各发育阶段的存活与发育情况,在幼虫末龄时期,记录末龄幼虫的蜕变情况,并及时记录化蛹时间、羽化情况。每天记录产卵量。观测并记录各阶段的发育和死亡情况、发育历期、存活率、化蛹率、羽化率及产卵量。

1.4 数据分析

根据发育历期(N)计算发育速率($V, V=1/N$),在此基础上,采用最小二乘法依据发育速率和温度(T)分别计算发育起点温度(C)和有效积温(K)及其标准差(S_C, S_K),并建立发育速率与温度回归方程^[17]。

采用 SPSS 11.5 软件进行方差分析(ANOVA)、多重比较(Duncan 法, $P<0.05$)、相关分析(Pearson 法)和回归分析。

2 结果与分析

2.1 温度对各虫态发育的影响

2.1.1 卵和幼虫

温度对荔枝异形小卷蛾卵和幼虫的发育历期和成活率均有极显著($P<0.01$)或显著($P<0.05$)影响。卵和幼虫的发育历期在温度间均差异显著($P<0.05$),且随温度上升而下降(图 1),变化趋势均符合幂函数曲线模型(表 1)。其中,18℃时卵和幼虫的发育历期平均为 5.67 d 和 31.47 d,分别较 30℃时提高 100%和 88.80%。卵和幼虫的存活率随温度升高呈现先上升后下降的变化趋势(图 1)。研究温度范围内卵的平均存活率为 81.44%,从 18℃到 24℃逐渐升高并趋于平稳,至 27℃时达到最大值,平均为 88.60%,其后开始下降,变化趋势符合二项式曲线模型(表 1),27℃时的存活率分别较 18℃时和 30℃时提高 22.38%和 11.87%。幼虫存活率的变化趋势与卵类似,最低也出现在 18℃时,但最高值出现在 21℃时,平均达 86.00%,随后即开始下降,但其后各温度间差异不显著(图 1)。

2.1.2 蛹和成虫

温度对荔枝异形小卷蛾预蛹和蛹的发育历期均有极显著($P<0.01$)影响,二者且随温度上升而下降(图 2),变化趋势均符合幂函数曲线模型(表 1)。预蛹和蛹在 18℃时的发育历期平均为 6.03 d 和 11.53 d,分别是 30℃时的 3 倍和 2 倍左右。温度对二者成活率均影响不显著($P>0.05$)(图 2,表 1),预蛹和蛹的成活率约为 92.24%和 90.40%。

温度对荔枝异形小卷蛾成虫发育历期和产卵量均有极显著($P<0.01$)影响。成虫发育历期平均为

10.67 d,且随温度上升略升高后随即呈二项式模型下降(图3,表1),最大值出现在21℃时,较最低至30℃时提高68.53%。产卵量随温度升高呈现先上升后下降的变化趋势(图3),变化趋势符合二项式模型(表1),每个雌虫平均产卵量为30.62粒,最大值出现在27℃时,最低值出现在18℃时,27℃时产卵量较18℃和30℃时分别提高226.62%和40.12%。

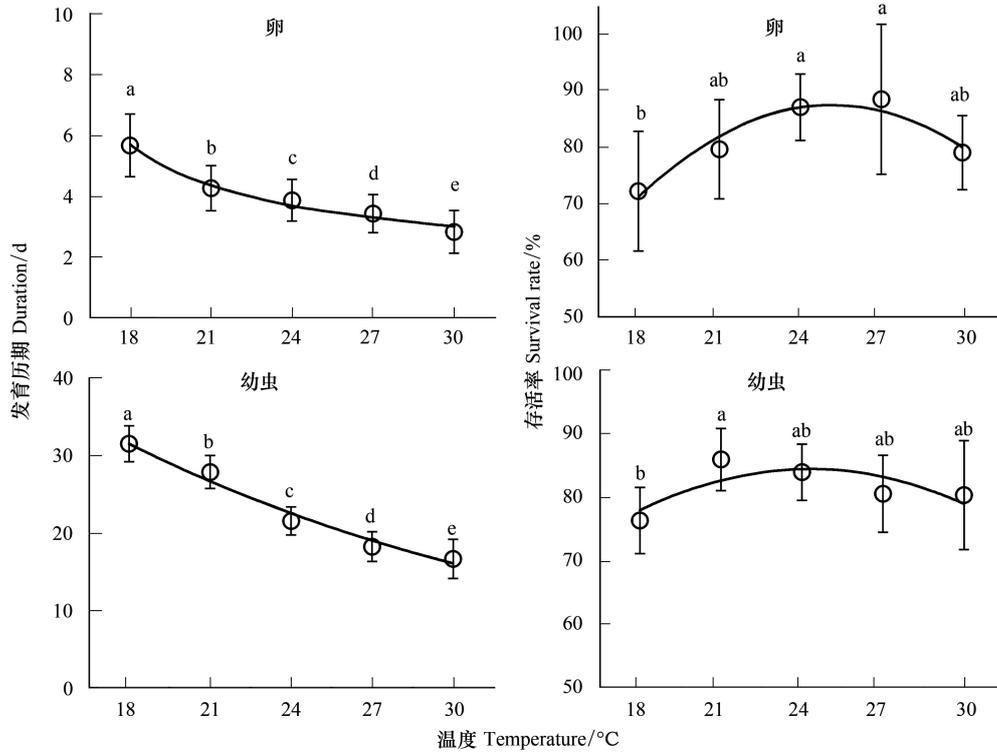


图1 温度对卵和幼虫的发育历期和存活率的影响

Fig.1 Effects of temperature on duration and survival rate of eggs and larvae of *Cryptophlebia ombrodelta*
温度间无相同字母表示其在0.05水平上差异显著, $P < 0.05$, 有相同字母表示差异不显著

表1 荔枝异形小卷蛾各阶段的发育历期和存活率与温度的关系

Table 1 Relationship between temperature and duration, survival rate of developmental stages of *Cryptophlebia ombrodelta*

发育阶段 Developmental stages	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient R^2	F	P
卵历期 Eggs duration	$Y = 213.9255X^{-1.2660}$	0.9759	121.6200	0.0016
卵存活率 Eggs survival rate	$Y = -0.3143X^2 + 15.8324X - 111.8514$	0.9328	13.8805	0.0672
幼虫历期 Larvae duration	$Y = 1505.9834X^{-1.3298}$	0.9805	150.8500	0.0012
幼虫存活率 Larvae survival rate	$Y = -0.1667X^2 + 9.0867X - 13.6000$	0.5901	1.4395	0.4099
预蛹历期 Prepupae duration	$Y = 1799.9282X^{-1.9745}$	0.9726	106.4100	0.0019
预蛹存活率 Pupation survival rate	$Y = -0.0889X^2 + 3.8800X + 51.9200$	0.7346	2.7688	0.2653
蛹历期 Pupae duration	$Y = 346.1295X^{-1.1561}$	0.9775	130.2600	0.0014
蛹存活率 Pupae survival rate	$Y = 0.0175X^2 - 0.7248X + 97.4229$	0.9880	82.1250	0.0120
成虫历期 Adult duration	$Y = 0.0402X^2 - 1.4963X - 0.0402$	0.9318	16.3990	0.0681
产卵量 Fecundity	$Y = -0.4294X^2 + 22.6397X - 0.4294$	0.8650	6.8587	0.0791
世代历期 Generation duration	$Y = 2727.7371X^{-1.2687}$	0.9812	156.3516	0.0011
累积存活率 Cumulative survival rate	$Y = -0.8206X^2 + 41.3971X - 437.1543$	0.9805	50.3591	0.0195

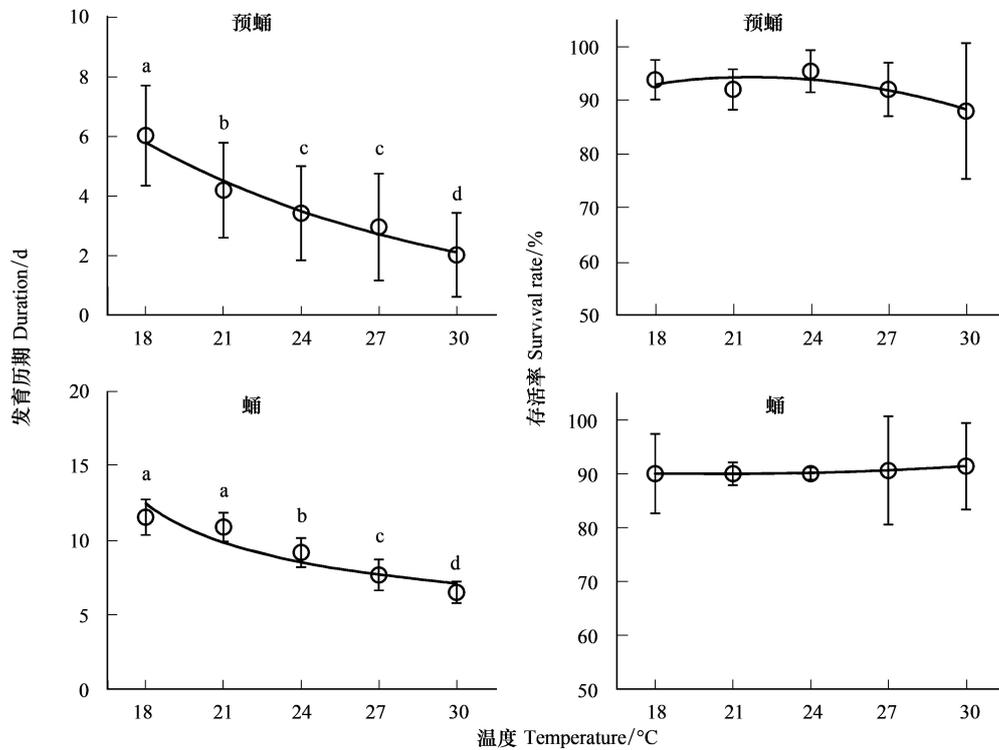


图2 温度对预蛹和蛹的发育历期和存活率的影响

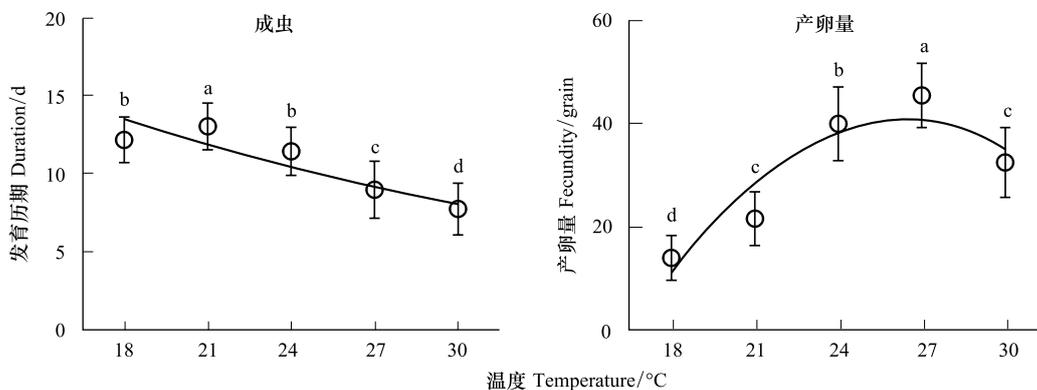
Fig.2 Effects of temperature on duration and survival rate of prepupae and pupae of *Cryptophlebia ombrodelta*

图3 温度对成虫发育历期和产卵量的影响

Fig.3 Effects of temperature on adults duration and fecundity of *Cryptophlebia ombrodelta*

2.1.3 世代历期和累积成活率

荔枝异形小卷蛾世代历期平均为 50.71 d, 累积存活率平均为 68.92%。温度对二者均有极显著 ($P < 0.01$) 影响。世代历期随温度上升而下降(图 4), 变化趋势均符合幂函数曲线模型(表 1); 而累积存活率随温度上升呈现先上升下降的变化趋势, 符合二项式模型(表 1)。世代历期在 18°C 时为 66.87 d, 较 30°C 时高 86.95%。累积存活率以 18°C 时最低, 平均为 41.20%, 21—27°C 时差异不显著, 以 27°C 时最高, 平均为 83.80%, 30°C 时下降至 66.00%。值得注意的是, 幼虫期在整个世代的占比随温度升高呈现先下降后上升的变化趋势, 分别为 47.06%、46.23%、43.56%、44.18%、46.60%。

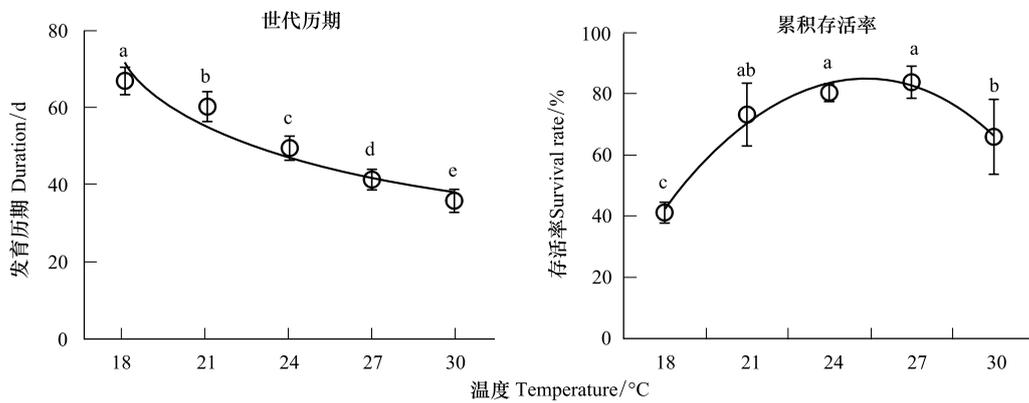


图4 温度对世代历期和累积成活率的影响

Fig.4 Effects of temperature on generation duration and cumulative survival rate of *Cryptophlebia ombrodelta*

2.2 温度与发育的关系及预测

2.2.1 温度与发育历期及成活率的关系

温度与各发育阶段的发育历期均呈负相关关系(表2),除成虫外,均达到极显著水平($P<0.01$);温度与产卵量呈极显著正相关关系($P<0.01$),即温度上升可导致发育历期缩短,而繁殖力增强。

表2 温度与各发育阶段历期的相关关系

Table 2 Correlation analysis of temperature and duration of developmental stages of *Cryptophlebia ombrodelta*

	卵历期 Eggs duration	幼虫历期 Larvae duration	预蛹历期 Prepupae duration	蛹历期 Pupae duration	成虫寿命 Adult duration	世代历期 Generation duration	产卵量 Fecundity
温度 Temperature	-0.9774 **	-0.9779 **	-0.9467 **	-0.9391 **	-0.8516	-0.9622 **	0.8937 **

** 表示相关极显著($P<0.01$), * 表示相关显著($P<0.05$)

除预蛹阶段外,温度与各发育阶段的存活率均呈正相关关系(表3),即温度可导致存活率上升,但均未达到显著水平($P>0.05$),这与各发育阶段存活率随温度升高未表现出单一的变化趋势有关(表1)。

表3 温度与各发育阶段存活率的相关关系

Table 3 Correlation analysis of temperature and survival rate of developmental stages of *Cryptophlebia ombrodelta*

	卵存活率 Eggs survival rate	幼虫存活率 Larvae survival rate	预蛹存活率 Pupation survival rate	蛹存活率 Pupae survival rate	累积存活率 Cumulative survival rate
温度 Temperature	0.6699	0.2710	-0.5919	0.7936	0.7313

2.2.2 发育起点温度和有效积温

除预蛹阶段的发育起点温度较高(12.55°C)外,其余各发育阶段的起点温度多在5—6°C左右(表4),符合有效积温法则,相关系数较高。荔枝异形小卷蛾完整世代发育所需有效积温为876.76 d °C,其中预蛹和卵阶段占比较低,合计约12%左右,幼虫阶段占比最高,达到45.23%,其次为成虫阶段,再次为蛹阶段。

2.2.3 发育速率与温度的关系

各发育阶段的发育速率与温度之间均呈显著的正相关关系,决定系数均较高且达到显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)水平(表4)。卵和预蛹的发育速率最快,其次为蛹和成虫,幼虫最慢,但均高于世代平均发育速率(图5)。温度与发育速率呈现正相关关系,即温度越高发育速率越快,对温度变化反映越敏感。

表 4 荔枝异形小卷蛾各发育阶段的发育起点温度、有效积温及发育速率回归分析

Table 4 Developmental threshold temperature, effective accumulated temperature and regression analysis of developmental rate of developmental stages of *Cryptophlebia ombrodelta*

发育阶段 Developmental stages	发育起点温度 Developmental threshold temperature/°C	有效积温 Effective accumulated temperature/(d °C)	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient R^2	F	P
卵 Eggs	5.23(±1.75)	71.42(±6.50)	$V=0.0137T-0.0661$	0.9757	120.6046	0.0016
幼虫 Larvae	6.08(±1.41)	391.21(±29.98)	$V=0.0025T-0.0145$	0.9827	170.2315	0.0010
预蛹 Prepupae	12.55(±1.77)	37.57(±5.45)	$V=0.0250T-0.2961$	0.9406	47.4589	0.0063
蛹 Pupae	4.93(±2.32)	166.64(±19.83)	$V=0.0058T-0.0237$	0.9592	70.6122	0.0035
成虫 Adult	4.90(±4.86)	195.99(±48.84)	$V=0.0043T-0.0058$	0.8430	16.1039	0.0278
世代 Generation	5.77(±1.43)	876.76(±66.92)	$V=0.0011T-0.0062$	0.9828	171.6779	0.0010

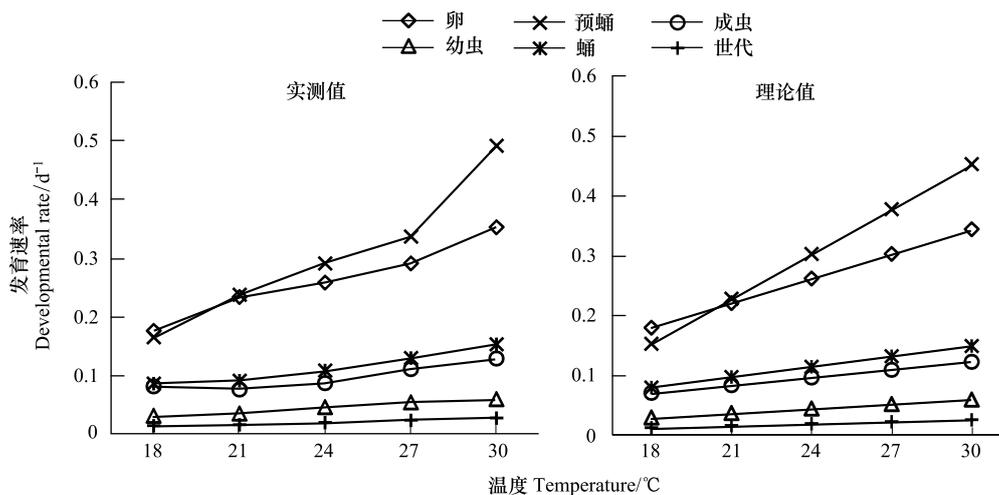


图 5 温度对各发育阶段发育速率的影响

Fig.5 Effects of temperature on developmental rate of developmental stages of *Cryptophlebia ombrodelta*

3 结论与讨论

荔枝异形小卷蛾的严重为害是格木人工林发展的主要限制因子^[14]。随着全球变暖,格木人工林由天然分布区逐渐向北扩展,期间各地虫害问题尚未得到有效解决,但调查发现北部人工林内虫害的影响与南部存在差异。原产地与引种区的环境条件差异,尤其是温度,对昆虫和树种生长发育及而二者关系均具有较大影响,对虫害防控具有重要意义^[8,18]。

昆虫发育历期温度的关系多呈负相关关系,即随温度升高发育历期缩短^[7,19-20],也有随温度升高先缩短后延长的现象^[21]。本研究中,荔枝异形小卷蛾的各发育阶段历期均随温度上升而下降,与之呈极显著负相关关系,世代历期在 18°C 时为 66.87 d,在 30°C 时仅为 35.77 d(图 4),其中幼虫的发育历期占世代历期的比例最高,平均达到 45.65%。各发育阶段的起点温度多在 5°C 左右(表 4),说明其对温度的有较强适应性,其世代发育所需有效积温为 876.76 d °C,幼虫阶段占比最高,达到 45.23%。

相对于发育历期随温度的单一变化趋势,其存活率则大多表现为随温度上升呈现先升高后下降的变化趋势,在 18—27°C 范围内上升较快,最高值均出现在 27°C 时,其后缓慢下降,预蛹和蛹随温度变化不明显,产卵量亦表现为相似的变化趋势,但其对温度的反映敏感性高于存活率(图 3,图 4),且与温度的相关性更高(表 2,表 3)。综合来看,温度过低或过高均可抑制昆虫存活率和繁殖力,与菜豆象、光滑足距小蠹等昆虫的研究结果一致^[19,21]。昆虫存活率和繁殖力随温度的增加呈现先上升后降低的趋势,可能与昆虫的营养摄取有关,

在 18—30℃ 范围内,昆虫的取食量随温度升高亦呈先升高后下降的变化趋势^[22]。荔枝异形小卷蛾的为害以钻蛀为主,越大的取食量也显示为害程度越高,在 27℃ 时的世代历期较短,各发育阶段和世代存活率、繁殖力均最高,所以在 27℃ 时其为害最大。

荔枝异形小卷蛾的幼虫期是对格木为害的主要阶段,由研究结果可以推断,在高温区域其幼虫期的发育历期缩短,单次为害程度下降,但会增加世代数和繁殖力,导致种群数量增加,持续为害相对严重,而在低温地区世代长,虽可降低年世代数,但幼虫期的发育历期长,单次为害严重,即在不同温度区荔枝异形小卷蛾均可对格木人工林造成严重的持续为害。温度过高可导致昆虫无法存活、完成发育或繁殖,如白眉野草螟 (*Agriphila aeneociliella* Eversmann) 在 33℃ 卵即无法孵化^[23],卷蛾分索赤眼蜂在 35℃ 时不能正常繁殖^[20]。格木在我国主要分布在华南地区,夏季温度高且持续期较长,但荔枝异形小卷蛾为害仍有发生,可能与其为害方式有关,其钻蛀嫩梢,而植物体内温度低于环境温度,导致其可正常发育。

本研究涉及的温度范围基本涵盖了格木天然分布区和潜在推广种植区的温度,探明荔枝异形小卷蛾的发育特征和繁殖力与温度的关系,对于害虫的预测预报、及时采取防治时间和方法具有重要的指导作用。珍贵树种人工林培育周期长,调整的难度大,在环境-昆虫-植物三者关系中处于相对薄弱的环节,因此在推广种植时不但要考虑环境适应性,也要重点考虑可能面临的病虫害风险。

参考文献 (References):

- [1] 涂小云,夏勤雯,陈超,何海敏,薛芳森. 中国亚洲玉米螟发育历期的地理变异. 生态学报, 2015, 35(2): 324-332.
- [2] 陈瑜,马春森. 气候变暖对昆虫影响研究进展. 生态学报, 2010, 30(8): 2159-2172.
- [3] Raza M M, Khan M A, Arshad M, Sagheer M, Sattar Z, Shafi J, Haq E U, Ali A, Aslam U, Mushtaq A, Ishfaq I, Sabir Z, Sattar A. Impact of global warming on insects. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 2015, 48(1): 84-94.
- [4] 张鹤,林进添. 昆虫对全球气候变暖的响应. 环境昆虫学报, 2015, 37(6): 1280-1286.
- [5] Deutsch C A, Tewksbury J J, Huey R B, Sheldon K S, Ghalambor C K, Haak D C, Martin P R. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2008, 105(18): 6668-6672.
- [6] Hódar J A, Zamora R. Herbivory and climatic warming: a Mediterranean outbreaking caterpillar attacks a relict, boreal pine species. Biodiversity & Conservation, 2004, 13(3): 493-500.
- [7] 徐川峰,骆丹,殷立新,刘兴平. 温度对樟叶蜂生长发育和繁殖的影响. 昆虫学报, 2017, 60(10): 1216-1225.
- [8] 魏建荣,杨忠岐,戴建青,杜家纬. 树木-蛀干昆虫-天敌昆虫间的三级营养关系. 应用生态学报, 2007, 18(5): 1127-1131.
- [9] 郝德君,王焱,戴华国,马凤林,沈凤琴. 中国人工林害虫生态治理策略及技术展望. 东北林业大学学报, 2004, 32(6): 84-86.
- [10] 李孟楼,王鸿哲,张学武. 生物多样性与林分抗虫性的评判. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2004, 32(3): 65-68.
- [11] 盛炜彤. 人工林的生物学稳定性与可持续经营. 世界林业研究, 2001, 14(6): 14-21.
- [12] 刘世荣,温远光,蔡道雄,朱宏光,黄雪蔓,李晓琼. 气候变化对森林的影响与多尺度适应性管理研究进展. 广西科学, 2014, 21(5): 419-435.
- [13] 赵志刚,郭俊杰,沙二,林开勤,曾杰,徐建民. 我国格木的地理分布与种实表型变异. 植物学报, 2009, 44(3): 338-344.
- [14] 赵志刚,王敏,曾冀,莫洪荣,郭俊杰,曾杰. 珍稀树种格木蛀梢害虫的种类鉴定与发生规律初报. 环境昆虫学报, 2013, 35(4): 534-538.
- [15] 刘友樵,李广武. 中国动物志: 昆虫纲. 第二十七卷, 鳞翅目: 卷蛾科. 北京: 科学出版社, 2002: 397-398.
- [16] 何衍彪,詹儒林. 荔枝异形小卷蛾的发生及防治. 广西农业科学, 2006, 37(3): 280-281.
- [17] 张孝羲. 昆虫生态及预测预报(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2002: 217-220.
- [18] 王蕾,张怡婷,张圣新,范德玲,汪贞,石利利,刘济宁. 环境条件对伸展摇蚊实验种群繁育的影响. 生态学报, 2017, 37(21): 7152-7160.
- [19] 姚洁,戴仁怀,代传勇,杨洪. 温度对菜豆象发育和繁殖的影响. 昆虫学报, 2016, 59(7): 739-746.
- [20] 陈科伟,何余容,吕燕青,吕欣,黄寿山. 温度对卷蛾分索赤眼蜂种群参数的影响. 生态学报, 2005, 25(1): 73-77.
- [21] 杨群芳,王慧,李庆,王海建,蒋春先. 温度对食菌小蠹光滑足距小蠹实验种群发育和繁殖的影响. 昆虫学报, 2010, 53(12): 1382-1389.
- [22] 王俊雅,李孟楼,王云果,贺虹,王宏涛. 温度对杜仲梦尼夜蛾生长发育及取食量和排粪量的影响. 西北林学院学报, 2016, 31(6): 204-209, 231-231.
- [23] 张云慧,彭赫,张智,李祥瑞,刘勇,王海英,原国辉,程登发. 温度和食料对白眉野草螟幼虫生长发育的影响. 昆虫学报, 2015, 58(2): 169-174.