

劳氏粘虫发育起点温度和有效积温研究*

黄 芊^{1**} 蒋显斌¹ 凌 炎² 蒋 婷¹ 龙 迪³ 陈玉冲⁴
符诚强¹ 吴碧球² 黄所生² 李 成² 黄凤宽² 龙丽萍^{1***}

(1. 广西农业科学院, 水稻研究所/广西水稻遗传育种重点实验室/广西水稻优质化育种研究人才小高地, 南宁 530007;

2. 广西农业科学院, 植物保护研究所/广西作物病虫害生物学重点实验室, 南宁 530007;

3. 广西大学农学院, 南宁 530005; 4. 广西农业科学院, 南宁 530007)

摘 要 【目的】明确劳氏粘虫 *Leucania loreyi* (Duponchel) 各虫态的发育起点温度和有效积温。【方法】本研究在光照培养箱中, 测定劳氏粘虫分别在 18、21、24、27、30 ℃ 下各虫态的发育历期, 并运用有效积温法则计算出劳氏粘虫各虫态的发育起点温度和有效积温; 采用 Logistic 模型建立各虫态发育速率与温度的关系, 进而求出各虫态的发育最适温度及适宜温区。【结果】劳氏粘虫各龄幼虫在 18-30 ℃ 之间均能正常生长发育, 发育历期随温度的升高而缩短。卵、幼虫、蛹、产卵前期和全世代的发育起点温度分别为 11.83、13.89、14.20、-1.86 和 12.24 ℃, 有效积温分别为 52.55、254.53、118.15、121.89 和 542.26 日·度。全世代的发育最适温度为 20.71 ℃, 发育适温区为 12.65-28.78 ℃。【结论】根据广西代表地区气象资料, 推算出劳氏粘虫在广西一年理论发生 5.8-7.8 代, 与田间调查情况相符。

关键词 劳氏粘虫, 适宜温度, 生长发育, 发育速率, 逻辑斯蒂模型

Developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of *Leucania loreyi* (Duponchel) (Lepidoptera: Noctuidae)

HUANG Qian^{1**} JIANG Xian-Bin¹ LING Yan² JIANG Ting¹ LONG Di³
CHEN Yu-Chong⁴ FU Cheng-Qiang¹ WU Bi-Qiu² HUANG Suo-Sheng²
LI Cheng² HUANG Feng-Kuan² LONG Li-Ping^{1***}

(1. Rice Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences/Guangxi Key Laboratory of Rice Genetics and Breeding/Guangxi Talent Highland of High Quality Rice Breeding Research, Nanning 530007, China; 2. Plant Protection Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences/Guangxi Key Laboratory for Biology of Crop Diseases and Insect Pests, Nanning 530007, China; 3. Agricultural College, Guangxi University, Nanning 530005, China;

4. Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China)

Abstract 【Objectives】To study the developmental duration, developmental threshold temperature and effective accumulative temperature of *Leucania loreyi* (Duponchel) (Lepidoptera: Noctuidae). 【Methods】The developmental duration of *L. loreyi* was determined under five constant temperatures (18, 21, 24, 27 and 30 ℃) in an incubator. The developmental threshold temperature (C) and effective accumulative temperature (K) of *L. loreyi* were determined using the effective accumulated temperature law. A logistic model was used to establish the relationship between temperature and developmental rates, and the optimum temperature, and optimum temperature range, calculated. 【Results】*L. loreyi* developed normally within a temperature range of 18 to 30 ℃, and developmental duration decreased with increasing temperature. The threshold temperatures of eggs, larvae, pupae, and pre-oviposition stages, and that of an entire generation, were estimated to be 11.83,

*资助项目 Supported projects: 公益性行业(农业)科研专项(201403031); 国家自然科学基金(31560510); 广西自然科学基金(2017GXNSFBA198227); 广西农业科学院基本科研业务专项(桂农科 2018YM15, 2015YT18); 广西农业科学院科技发展基金(桂农科 2017ZX13, 2016JZ23); 中央引导地方科技发展专项(桂科 ZY18057004); 国家重点研发计划子课题(2018YFD020030602); 广西水稻遗传育种重点实验室开放课题(160-380-16-5)

**第一作者 First author, E-mail: 87542980@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: longlp@sohu.com

收稿日期 Received: 2018-08-25, 接受日期 Accepted: 2018-09-21

13.89, 14.20, -1.86 and 12.24, respectively, and the corresponding effective accumulated temperatures were 52.55, 254.53, 118.15, 121.89 and 542.26 degree-days. The optimal temperature of an entire generation was 20.71, with a suitable temperature range of 12.65 to 28.78. [Conclusion] Based on meteorological data from representative areas in Guangxi, *L. loreyi* is estimated to have 5.8 to 7.8 generations annually in Guangxi. This is in accordance with field observations.

Key words *Leucania loreyi*, optimum temperature, growth and development, development rate, Logisitic model

劳氏粘虫 *Leucania loreyi* (Duponchel) 属鳞翅目, 夜蛾科, 是粘虫 *Mythimna separata* (Walker) 的近缘种, 在我国分布广泛, 其幼虫食性杂, 喜食禾本科植物, 主要为害甘蔗、水稻和玉米等禾谷类作物 (黄芊等, 2018a)。劳氏粘虫取食作物叶片呈缺刻状, 发生严重时, 可将叶片吃光仅剩叶脉。在玉米田危害时可取食花丝和幼嫩籽粒 (郭松景等, 2001)。前人对劳氏粘虫的形态学特征、生物学特性和越冬规律等方面已有初步研究 (吴荣宗, 1962; 郭松景等, 2003; 黄芊等, 2018b), 但有关劳氏粘虫的发育起点温度和有效积温尚未见相关报道。

温度是气象因子中对昆虫生长发育速率影响最为显著的因素 (戈峰, 2008), 当测得害虫各个虫态的发育起点温度和有效积温时, 便可根据当地的气象资料测报出害虫的发生期, 并对害虫一年的发生世代进行预测, 从而提前防治减少农作物损失 (张孝羲等, 1979)。因此, 本研究在恒温条件下, 对劳氏粘虫各虫态的发育起点温度和有效积温进行研究, 为劳氏粘虫发生期预测预报提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

劳氏粘虫采自广西农业科学院玉米地, 在室内用新鲜玉米叶饲养 1 代后, 收集初孵幼虫作为供试虫源。

1.2 实验方法

试验采用恒温饲养法, 将初孵幼虫饲养于饲养盒中 (约 5 L), 分别放入 5 个不同温度梯度的光照培养箱中, 温度分别为 18、21、24、27、30, 湿度均为 75%±5%, 光周期为 L:D=12:12。每个处理 5 个重复, 每个重复 100 头初孵幼

虫。每天放入新鲜玉米叶片供其取食, 并于 9:00 和 15:00 观察、记录劳氏粘虫各虫态出现的时间。羽化后, 雌雄虫配对置于塑料杯中 (Φ7.5 cm×9 cm), 杯中放入 10% 蜂蜜水的棉花球供成虫取食, 放入聚丙烯塑料绳供其产卵, 用纱布封口。每天 9:00 点更换新鲜蜂蜜水及产卵绳, 并观察、记录其产卵前期, 期间若雄虫死亡应及时补充, 每个处理设重复 20 个。将各处理新产的卵取出后放入新的养虫杯中, 棉花保湿, 记录卵的发育历期。

1.3 实验仪器

光照培养箱型号为 GTOP-500Y, 由浙江托普仪器有限公司生产。

1.4 数据处理

1.4.1 发育起点温度和有效积温 根据上述观察记录的结果, 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”求其发育起点温度 (C) 和有效积温常数 (K) (张孝羲, 2002)。实验数据采用 SPSS19.0 和 Microsoft Excel 进行统计分析。计算公式如下 (1-6):

$$T = C + KV \quad (1)$$

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

$$K = \frac{n \sum VT - \sum V \sum T}{n \sum V^2 - (\sum V)^2} \quad (3)$$

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

$$S_c = \sqrt{\frac{\sum (T - T')^2}{n-2} \left[\frac{1}{n} + \frac{\bar{V}^2}{\sum (V - \bar{V})^2} \right]} \quad (5)$$

$$r = \frac{\sum TV - \frac{\sum T \sum V}{n}}{\sqrt{\left[\sum V^2 - \frac{(\sum V)^2}{n} \right] \cdot \left[\sum T^2 - \frac{(\sum T)^2}{n} \right]}} \quad (6)$$

式中, C 是发育起点温度, K 是有效积温, T 是实验温度, T' 是理论温度, n 为温度处理组数, V 是发育速率 (发育历期的倒数), S_k 为 K 的标准误差, S_c 为 C 的标准误差, r 为相关系数。

1.4.2 发育速率与温度关系的拟合 劳氏粘虫发育速率与温度的关系采用 Logistic 曲线模型 (王如松等, 1982; 丁岩钦, 1994) 进行拟合, 计算公式如下 (7):

$$V = \frac{k}{1 + e^{a-bT}} \quad (7)$$

式中, k 为发育速率的上限估计值, T 为试验温度, V 为温度为 T 时的发育速率, a 、 b 为参数。

1.4.3 发育最适温度和适宜温区 昆虫发育最适温度为 Logistic 曲线上斜率最大点的横坐标 (温度), 拐点 $C(a/b, 0.5k)$ 的斜率最大, 则 $T = a/b$ 为发育最适温度 T_{mido} 。根据 Lagrange 中值定理计算发育适宜温区的上限 T_{max} 和下限 T_{min} (岳健等, 2009; 陈亚丽等, 2016; 商显坤等, 2017), 计算公式如下 (8-10):

$$T_{\text{max}} = \frac{a - \ln(S - \sqrt{S^2 - 1})}{b} \quad (8)$$

$$T_{\text{min}} = \frac{a - \ln(S + \sqrt{S^2 - 1})}{b} \quad (9)$$

$$S = \frac{[(a+1) + e^a(a-1)]}{e^a - 1} \quad (10)$$

式中, a 、 b 为 Logistic 方程 (7) 中的 a 、 b 。

由于 Logistic 曲线是一条关于拐点呈中心对称的曲线, 两切点 T_{max} 、 T_{min} 也关于 C 点对称, 因此 T_{mid} 计算式为:

$$T_{\text{mid}} = \frac{T_{\text{max}} + T_{\text{min}}}{2} = \frac{a}{b} \quad (11)$$

2 结果与分析

2.1 不同温度下劳氏粘虫的发育历期

劳氏粘虫在不同温度下的发育历期见表 1。结果表明, 在 18-30 范围内, 劳氏粘虫各虫态发育历期随着温度的升高而缩短, 各虫态的发育历期在 24 和 27 之间差异均不显著。温度对产卵前期的影响较小, 在 21-30 之间差异均不显著。18 时, 各虫态历期最长, 全世代需 106.92 d, 所需时间是 30 时的 3 倍多。

表 1 不同温度下劳氏粘虫的发育历期 (Mean±SE)

Table 1 Development duration of *Leucania loreyi* at different temperatures (Mean±SE)

虫态 Insect stage	发育历期 (d) Development duration (d)				
	18	21	24	27	30
卵期 Egg	7.12±0.05a	6.83±0.04b	3.79±0.04c	3.70±0.04c	2.95±0.03d
幼虫期 Larva	66.25±0.91a	31.04±0.19b	23.53±0.90c	22.59±0.17c	15.49±0.12d
蛹期 Pupa	27.17±0.79a	20.54±0.29b	9.94±0.26c	9.90±0.16c	7.83±0.13d
产卵前期 Oviposition prophase	6.25±0.46a	4.75±0.38b	4.72±0.25b	4.60±0.54b	3.83±0.17b
世代历期 Generation duration	106.92±0.98a	55.19±0.82b	41.20±0.71c	40.44±0.33c	31.25±0.61d

同行数据后凡具有相同字母者, 表示在不同温度间差异不显著 ($P>0.05$, Duncan's 多重检验法)。

Data followed by the same letters in the same row indicate no significant difference between different temperatures by Duncan's multiple range test ($P>0.05$).

2.2 劳氏粘虫发育起点温度和有效积温

劳氏粘虫各虫态的发育起点温度和有效积温见表 2。劳氏粘虫全世代发育起点温度为 12.24, 有效积温为 542.26 日·度。卵、幼虫和蛹的发育起点温度分别为 11.83、13.89、14.20, 产卵前期的发育起点温度最低为 -1.86。幼虫期

所需有效积温最高为 254.53 日·度, 其次是产卵前期为 121.89 日·度, 蛹和卵的有效积温分别为 118.15 日·度和 52.55 日·度。

2.3 发育速率与温度关系的拟合

利用 Logistic 模型拟合劳氏粘虫各虫态发育速率与温度的关系见表 3。从表 3 中可知, 劳

表 2 劳氏粘虫各虫态的发育起点温度 () 和有效积温 (日·度) (Mean±SE)

Table 2 Development threshold temperature and effective accumulative temperature of *Leucania loreyi* (Mean±SE)

虫态 Insect stage	发育起点温度 Development threshold temperature ()	有效积温 (日·度) Effective accumulative temperature	回归方程 Recursive equation	<i>r</i>
卵期 Egg	11.83±2.22	52.55±9.07	$T=11.83+52.55V$	0.958
幼虫期 Larva	13.89±1.57	254.53±36.61	$T=13.89+254.53V$	0.970
蛹期 Pupa	14.20±1.78	118.15±19.82	$T=14.20+118.15V$	0.960
产卵前期 Oviposition prophase	-1.86±6.36	121.89±29.63	$T=-1.861+121.89V$	0.922
世代历期 Generation duration	12.24±1.85	542.26±80.37	$T=12.24+542.26V$	0.969

表 3 劳氏粘虫各虫态的发育速率与温度的 Logisitic 拟合模型

Table 3 Logisitic model of development rate and the temperature for *Leucania loreyi*

虫态 Insect stage	模型 Modle	r^2
卵期 Egg	$V=0.460/(1+e^{3.887-0.163T})$	0.921
幼虫期 Larva	$V=0.095/(1+e^{4.372-0.167T})$	0.928
蛹期 Pupa	$V=0.136/(1+e^{6.397-0.291T})$	0.935
产卵前期 Oviposition prophase	$V=0.373/(1+e^{1.561-0.077T})$	0.847
世代历期 Generation duration	$V=0.033/(1+e^{5.799-0.28T})$	0.946

氏粘虫除了产卵前期外,其他各虫态的发育速率与温度均能与 Logisitic 模型较好拟合。其中卵期的 Logisitic 模型中 K 值最大,为 0.46,因此,在适宜温度下卵期的发育速率最快。

2.4 发育最适温度和适宜温区

从表 4 可知,通过 Logisitic 方程中的 a 、 b 值计算出劳氏粘虫全世代的发育最适温度为 20.71,适宜温区上限为 28.78,下限为 12.65。卵、幼虫、蛹及产卵前期最适温度分别为 23.85、26.18、21.98、20.27。

3 讨论

本研究结果表明,温度对劳氏粘虫的发育速率有显著影响,在 18-30 范围内,其发育速率随着温度的升高而加快。劳氏粘虫完成一个世代的发育起点温度为 12.24,有效积温为 542.26 日·度。广西属粘虫终年发生区,是粘虫越冬的重要地区。笔者通过田间调查发现,2017 年越冬粘虫中劳氏粘虫所占比例最高(黄芊等,2018b),对翌年作物生产有潜在影响,因此有必要进一步了解劳氏粘虫在该地区的发生世代数。

表 4 劳氏粘虫各虫态的发育最适温度和适宜温区

Table 4 The optimal temperature, the lowest temperature for development, and the highest temperature for *Leucania loreyi*

虫态 Insect stage	最适温度 () The optimal temperature	适宜温区上限 () The highest temperature for development	适宜温区下限 () The lowest temperature for development
卵期 Egg	23.85	34.77	12.93
幼虫期 Larva	26.18	37.68	14.68
蛹期 Pupa	21.98	30.14	13.82
产卵前期 Oviposition prophase	20.27	31.41	9.14
世代历期 Generation duration	20.71	28.78	12.65

按照积温 6 900 和 8 000 等值线为界, 广西自北向南主要分为中亚热带, 南亚热带和北热带 3 个气候带, 在这 3 个气候带中, 分别选取桂林市、南宁市和北海市作为代表城市, 通过查阅 2016 年气象资料(广西壮族自治区统计局, 2017)并结合本研究结果可算出桂林市、南宁市和北海市常年对劳氏粘虫全世代的有效积温分别为 3 128.26、3 685.06 和 4 201.76 日·度, 因此推测劳氏粘虫在广西地区的理论发生代数分别为 5.8-7.8 代, 这与田间调查结果基本相符。

由于影响昆虫生长发育的环境因素很多, 湿度、光照、降水和食物等因素也不容忽略, 当温度达到了发育起点温度并不意味着达到了生长发育的起点(唐业忠等, 1993), 因此在进行害虫预测预报时还因结合这些因素加以修正, 从而更准备地预测害虫发生期。

参考文献 (References)

- Chen YL, Adil S, Yu F, Mahmut N, Ma JH, Kong WJ, Ma B, He B, 2016. Developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of *Pyrrhalta maculicollis* (Mots.). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(1): 185–190. [陈亚丽, 阿地力·沙塔尔, 喻峰, 买合木提·尼亚孜, 马建红, 孔文军, 马斌, 贺斌, 2016. 榆黄毛萤叶甲的发育起点温度与有效积温的测定. 应用昆虫学报, 53(1): 185–190.]
- Ding YQ, 1994. *Mathematical Ecology of Insects*. Beijing: Science Press. 318–319. [丁岩钦, 1994. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社. 318–319.]
- Ge F, 2008. *Principles and Methods of Insect Ecology*. Beijing: Higher Education Press. 29–30. [戈峰, 2008. 昆虫生态学原理与方法. 北京: 高等教育出版社. 29–30.]
- Guangxi Zhuang Autonomous Region Bureau of Statistics, 2017. *Guangxi Statistical Yearbook 2017*. Beijing: China Statistics Press. 178. [广西壮族自治区统计局, 2017. 2017 年广西统计年鉴. 北京: 中国统计出版社. 178.]
- Guo SJ, Li SM, Ma LP, Li SL, 2001. Spatial distribution patterns and sampling techniques of larvae of *Leucania loreyi* Duponchel in corn fields. *Journal of Henan Agricultural University*, 35(3): 245–248. [郭松景, 李世民, 马林平, 李松林, 2001. 劳氏粘虫幼虫在玉米田的空间分布及抽样技术研究. 河南农业大学学报, 35(3): 245–248.]
- Guo SJ, Li SM, Ma LP, Zhuo XN, 2003. Study on the biological characteristic and damage regularity of *Leucania loreyi* (Duponchel). *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 32(9): 37–39. [郭松景, 李世民, 马林平, 卓喜牛, 2003. 劳氏粘虫的生物学特性及危害规律研究. 河南农业科学, 32(9): 37–39.]
- Huang Q, Jiang XB, Ling Y, Jiang T, Chen YC, Long D, Fu CQ, Huang SS, Wu BQ, Li C, Huang FK, Long LP, 2018a. Growth, development and reproduction of *Leucania loreyi* (Duponchel) (Lepidoptera: Noctuidae) on four host plants. *Journal of South China Agricultural University*, 39(3): 48–53. [黄芊, 蒋显斌, 凌炎, 蒋婷, 陈玉冲, 龙迪, 符诚强, 吴碧球, 黄所生, 李成, 黄凤宽, 龙丽萍, 2018a. 劳氏粘虫在 4 种寄主植物上的生长发育和繁殖. 华南农业大学学报, 39(3): 48–53.]
- Huang Q, Jiang XB, Ling Y, Long D, Jiang T, Chen YC, Fu CQ, Huang SS, Wu BQ, Li C, Huang FK, Long LP, 2018b. Preliminary investigation on the species of armyworm and its parasitic natural enemy insects in rice fields in Guangxi. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 31(1): 78–83. [黄芊, 蒋显斌, 凌炎, 龙迪, 蒋婷, 陈玉冲, 符诚强, 黄所生, 吴碧球, 李成, 黄凤宽, 龙丽萍, 2018b. 广西稻田粘虫及其寄生性天敌昆虫发生种类调查初报. 西南农业学报, 31(1): 78–83.]
- Shang XK, Huang CH, Wei JL, Pan XH, 2017. Effects of temperature on the developmental rate of *Alissonotum impressicollis* pupae. *Plant Protection*, 43(6): 118–122. [商显坤, 黄诚华, 魏吉利, 潘雪红, 2017. 温度对突背蔗犀金龟蛹发育速率的影响. 植物保护, 43(6): 118–122.]
- Tang YZ, Zhu JG, Kuang RP, 1993. On the conception and application of the base temperature for development. *Journal of Ecology*, 1993(6): 70–72. [唐业忠, 朱建国, 况荣平. 发育起点温度的概念和应用问题. 生态学杂志, 1993(6): 70–72.]
- Wang RS, Lan ZX, Ding YQ, 1982. Studies on mathematical models of the relationship between insect development and temperature. *Acta Ecologica Sinica*, 2(1): 47–57. [王如松, 兰仲雄, 丁岩钦, 1982. 昆虫发育速率与温度关系的数学模型研究. 生态学报, 2(1): 47–57.]
- Wu RZ, 1962. Preliminary study on *Leucania loreyi* (Duponchel). *Acta Entomologica Sinica*, 11 (2): 164–164. [吴荣宗, 1962. 劳氏粘虫的初步研究. 昆虫学报, 11(2): 164–164.]
- 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 XX, 2002. *Insect Ecology and Forecast*. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press. 217–219. [张孝羲, 2002. 昆虫生态及预测预报. 第三版. 北京: 中国农业出版社. 217–219.]
- Zhang XY, Chen XN, Gen JG, 1979. *Principles and Methods of Pest Prediction*. Beijing: Agricultural Press. 223–224. [张孝羲, 程遐年, 耿济国, 1979. 害虫测报原理和方法. 北京: 农业出版社. 223–224.]