温度对突背蔗犀金龟蛹发育速率的影响

商显坤^{1,2}, 黄诚华^{1,2*}, 魏吉利¹, 潘雪红¹

(1. 广西农业科学院甘蔗研究所, 中国农业科学院甘蔗研究中心, 农业部广西甘蔗生物技术与遗传改良重点实验室, 广西甘蔗遗传改良重点实验室, 南宁 530007; 2. 广西蔗糖产业协同创新中心, 南宁 530004)

摘要 为探索温度对突背蔗犀金龟蛹生长发育的影响, 在实验室内测定了不同温度下突背蔗犀金龟化蛹和羽化情况, 计算蛹的发育历期、发育速率、发育起点温度和有效积温。结果表明, 突背蔗犀金龟蛹在 17~32℃ 范围内均能正常发育, 发育历期随温度的升高而缩短, 发育速率随温度的升高而加快。发育速率与温度的关系拟合模型为 Logistic 模型 $V=0.122\ 922/(1+e^{4.916\ 7-0.195\ 8T})$ 。采用直接最优法分析, 蛹的发育起点温度和有效积温分别为 13.02℃ 和 198.00 日·度。蛹的发育最适温度为 25.11℃, 发育适宜温区为 14.59~35.64℃。本研究明确了温度对突背蔗犀金龟蛹发育速率的影响, 对成虫发生期预测预报和有效防控具有重要的指导意义。

关键词 突背蔗犀金龟; 温度; 发育速率; 发育起点温度; 有效积温

中图分类号: S 435.661 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.0529-1542.2017.06.019

Effects of temperature on the developmental rate of *Alissonotum impressicolle* pupae

Shang Xiankun^{1,2}, Huang Chenghua^{1,2}, Wei Jili¹, Pan Xuehong¹

(1. Sugarcane Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences; Sugarcane Research Center, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Sugarcane Biotechnology and Genetic Improvement (Guangxi), Ministry of Agriculture, P. R. China, Guangxi Key Laboratory of Sugarcane Genetic Improvement, Nanning 530007, China; 2. Collaborative Innovation Center for Sugar Industry of Guangxi, Nanning 530004, China)

Abstract To determine the effect of temperature on the developmental rate of *Alissonotum impressicolle* Arrow pupa, the pupation and eclosion of *A. impressicolle* were studied at six different temperatures in the laboratory. Developmental duration, developmental rate, developmental threshold temperature and effective accumulated temperature were calculated. The results showed that *A. impressicolle* pupae could normally develop within the constant temperature ranging from 17 to 32℃, and the developmental duration decreased with increasing temperature, and the developmental rate accelerated with the increase of temperature. The relationships between developmental rate and temperature fitted the logistic model: $V=0.122\ 922/(1+e^{4.916\ 7-0.195\ 8T})$. By using the direct optimal method, the developmental threshold temperature was determined to be 13.02℃, and the effective accumulated temperature was 198.00 day-degree. The optimal temperature was 25.11℃, with a suitable temperature range from 14.59 to 35.64℃. This study demonstrated the effect of temperature on the developmental rate of *A. impressicolle* pupae, having an important significance in monitoring and effective control of adult populations.

Key words *Alissonotum impressicolle*; temperature; developmental rate; developmental threshold temperature; effective accumulated temperature

突背蔗犀金龟 *Alissonotum impressicolle* Arrow 是一种主要为害甘蔗的寡食性地下害虫^[1], 主要分布于我国的广西、广东、云南、福建、贵州和台湾

等甘蔗种植省(自治区), 以及缅甸、印度、菲律宾、越南和南非等甘蔗种植国家^[2-4]。广西于 20 世纪 60 年代在百色地区首次发现突背蔗犀金龟, 经过 50 多

收稿日期: 2017-02-09 修订日期: 2017-04-18

基金项目: 广西自然科学基金(2015GXNSFBA139090); 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-170305); 广西农业科学院基本科研业务专项(2015YT06)

* 通信作者 E-mail: chenghuahuang@sina.com

年的扩散蔓延,目前已在 20 多个市(县、区)发生分布,并已发展成为当地主要的甘蔗害虫^[5]。突背蔗犀金龟成虫和幼虫均能为害甘蔗,成虫在甘蔗苗期(5—6 月份)咬食蔗苗基部造成枯心苗,为害严重的地块枯心苗率达 75% 以上^[6]。幼虫在甘蔗生长中后期(9 月份以后)出现,主要为害蔗根,为害严重地块甘蔗枯黄倒伏,使甘蔗减产 10%~20%^[7]。防治方面,由于幼虫在甘蔗生长中后期发生,防治较为困难,所以生产上以苗期防治成虫为主。因此,根据突背蔗犀金龟化蛹进度进行成虫发生期的预测预报,在对其有效防控上显得尤为重要。

昆虫是变温动物,温度是昆虫生命活动中不可缺少的生态因素,温度的变化对昆虫的生长、发育和繁殖均有极大的影响^[8]。在适温区内,昆虫的发育速率会随温度的升高而加快,发育历期也会随之缩短^[9]。目前,关于温度对突背蔗犀金龟发育速率的影响国内外尚无研究报道。因此,笔者以突背蔗犀金龟蛹为研究对象,测定了不同温度条件下蛹发育历期和发育速率。研究结果对突背蔗犀金龟成虫发生期预测预报和有效防控有重要的指导意义;并为其生物学和生态学的研究提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

2016 年 3 月在广西崇左市宁明县蔗地采集突背蔗犀金龟 3 龄越冬幼虫,室内单头放入装有田间土壤(含水量为 18% 左右)的玻璃瓶(直径 10 cm,高度 6 cm)中,待幼虫在玻璃瓶底部做出蛹室后供试。

1.2 温度对蛹发育速率的影响

试验在智能人工气候箱(RXZ 型,宁波江南仪器厂)中进行,设 17、20、23、26、29 和 32℃ 共 6 个温度处理,将试虫分别放入上述温度的人工气候箱中(温度误差±0.5℃,相对湿度为 80%±5%,光周期 L//D=0 h//24 h),每个处理放 50 头幼虫。每天观察和记录其化蛹和羽化情况,计算蛹的发育历期 D 和发育速率 V (为 D 的倒数,即 $1/D$)。

1.3 发育速率与温度的关系拟合

根据温度与发育速率的散点图分布情况,分别选用线性回归模型 $Y = a + bX$ 、S 曲线模型 $Y = e^{a+b/X}$ 和 Logistic 曲线模型 $Y = A/(1 + e^{-bX})$ ^[10-11] 进

行拟合,模型中 a 、 b 为参数, A 为发育速率的上限估计值,运用三点法^[12-13]进行估算。

1.4 发育起点温度和有效积温计算

分别采用直线回归法和直接最优法计算突背蔗犀金龟蛹的发育起点温度 C 和有效积温 K ,计算方法如下。

1.4.1 直线回归法

根据有效积温法则 $K = D(T - C)$,采用“最小二乘法”公式,计算出发育起点温度 C 和有效积温 K ,以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 ^[14-15]。

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

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

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

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

式中: V 为发育速率, $\bar{V}$ 为发育速率的平均值; T 为温度; T' 为温度的理论值; n 为处理数。

1.4.2 直接最优法

根据李典谟和王莽莽^[16]提出的公式计算发育起点温度 C ,并根据有效积温法则 $K = D(T - C)$,计算出各处理的有效积温 K ,求其平均值即为 $\bar{K}$ 。

$$C = \frac{\sum TD^2 - \bar{D} \sum DT}{\sum D^2 - n \bar{D}^2}$$

$$\bar{K} = \frac{\sum D(T - C)}{n}$$

式中: T 为温度, D 为发育历期, $\bar{D}$ 为发育历期的平均值, $\bar{K}$ 为有效积温的平均值, n 为处理数。

1.4.3 两种算法的优劣比较

以不同算法得出的发育起点温度 C 为依据,计算有效积温 K ,根据下列公式计算方差 S^2 ,进而求出变异系数 CV ,根据 CV 的大小来判断结果的优劣, CV 越小说明计算结果越好^[17-18]。

$$S^2 = \frac{\sum(\bar{K} - K)^2}{n - 1}$$

$$CV = \frac{\sqrt{S^2}}{\bar{K}}$$

式中: K 为各处理的有效积温, $\bar{K}$ 为有效积温的平均值, n 为处理数。

1.5 发育最适温度和适宜温区计算

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_{mid} 。发育适宜温区的上限 T_{max} 和下限 T_{min} 根据 Lagrange 中值定理计算^[19-21]:

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

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

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

式中 a, b 为 Logistic 曲线方程中的 a, b ^[22]。因为 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,所以发育最适温度 T_{mid} 为:

$$T_{mid} = \frac{T_{min} + T_{max}}{2} = \frac{a}{b}$$

1.6 数据统计与分析

利用 Excel 2010 软件进行试验数据的计算和处理。利用 SPSS 22.0 软件进行温度与发育速率关系的模型拟合,并利用 Duncan 氏新复极差法进行方差分析(ANOVA)和显著性比较。

2 结果与分析

2.1 温度对蛹的发育历期和发育速率的影响

从表 1 可以看出,突背蔗犀金龟蛹在 17~32℃ 范围内,其发育历期随着温度的升高而缩短,17℃ 条件下的蛹期最长,为(47.65±0.22)d,32℃ 条件下的

蛹期最短,为(10.31±0.07)d。不同温度处理之间蛹的发育历期呈显著性差异($P < 0.05$)。另外,蛹的发育速率随温度的升高而加快,不同温度处理之间蛹的发育速率差异显著($P < 0.05$)。

表 1 不同温度下突背蔗犀金龟蛹的发育历期和发育速率¹⁾
Table 1 Developmental duration and developmental rate of *Alissonotum impressicolle* pupae at different temperatures

温度/℃ Temperature	蛹期区间/d Duration interval	平均蛹期 N/d Average duration	发育速率 V Developmental rate
17	44~50	(47.65±0.22)a	0.021 0
20	27~30	(28.77±0.10)b	0.034 8
23	21~25	(22.38±0.13)c	0.044 7
26	14~16	(14.84±0.08)d	0.067 4
29	11~13	(11.65±0.08)e	0.085 9
32	10~11	(10.31±0.07)f	0.097 0

1) 表中数据为平均数±标准误,同列数据后不同小写字母表示 Duncan 氏多重比较差异显著($P < 0.05$)。下同。
Data in the table are mean±SE, and different lowercase letters following the data in the same column indicate significant difference by Duncan's multiple range test ($P < 0.05$). The same below.

2.2 温度与发育速率的关系拟合

温度与发育速率的曲线模型分别用线性方程、S 曲线和 Logistic 曲线 3 种模型进行拟合(表 2)。可以看出 3 种模型的拟合度都非常好,均具有极显著性($P < 0.001$)。对比 3 种模型的 R^2 和 F 值可见,Logistic 曲线模型的 R^2 (0.994 4)和 F 值(705.086 8)均大于线性方程和 S 曲线,说明 Logistic 曲线模型拟合度最好,曲线方程为 $V=0.122 922/(1+e^{4.916 7-0.195 8T})$ 。

表 2 突背蔗犀金龟蛹的发育速率与温度的拟合模型

Table 2 Model of temperature and developmental rate of *Alissonotum impressicolle* pupae

类型 Type	回归方程 Regression equation	R^2	F	P
线性方程 Linear	$V=-0.071 3+0.005 3T$	0.987 8	324.933 2	0.000 1
S	$V=e^{-0.548 9-56.610 0/T}$	0.992 2	505.705 6	0.000 0
Logistic	$V=0.122 922/(1+e^{4.916 7-0.195 8T})$	0.994 4	705.086 8	0.000 0

2.3 发育起点温度和有效积温

突背蔗犀金龟蛹的发育起点温度和有效积温的两种算法的计算结果见表 3。通过对比两种算法的变异系数 CV 可以看出,直接最优法的计算结果略好于直线回归法。其中,两种算法计算出的发育起点温度分别为 13.59℃ 和 13.02℃,有效积温分别为 186.31 日·度和 198.00 日·度,计算结果相差不

大。根据直接最优法的计算结果建立发育速率与温度的关系式为 $T=13.02+198.00V$ 。

2.4 发育最适温度和适宜温区

根据 Logistic 曲线方程中的 a, b 两个参数计算出突背蔗犀金龟蛹的发育最适温度为 25.11℃,适宜温区下限温度为 14.59℃,适宜温区上限温度为 35.64℃。根据 Logistic 模型计算出在最适温度、下

限温度和上限温度时突背蔗犀金龟蛹的发育历期分别为 16.27 d、71.96 d 和 9.17 d。

3 讨论

本研究表明,温度变化对突背蔗犀金龟蛹的发育历期和发育速率均有显著影响。在 17~

32℃ 范围内,其发育历期随温度的升高而缩短,发育速率随温度升高而加快,符合适温区内昆虫的生长发育规律^[9]。另外,突背蔗犀金龟蛹在 17~32℃ 范围内均能正常发育,说明 17~32℃ 为蛹发育的适温区,符合本研究结果发育适宜温区为 14.59~35.64℃ 的范围。

表 3 突背蔗犀金龟蛹的发育起点温度和有效积温

Table 3 Developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of *Alissonotum impressicolle* pupae

方法 Method	发育起点温度 C/℃ Developmental threshold temperature	有效积温 K/日·度 Effective accumulated temperature	回归方程 Regression equation	变异系数 CV/% Coefficient of variance
直线回归法 Linear regression method	13.59±0.66	186.31±10.28	$T=13.59+186.31V$	8.44
直接最优法 Direct optimal method	13.02	198.00	$T=13.02+198.00V$	6.76

本研究结果表明,突背蔗犀金龟蛹的发育速率与温度的关系利用 Logistic 模型拟合度较好,与柑橘始叶螨 *Eotetranychus kankitus*^[23] 和榆黄毛萤叶甲 *Pyrhhalta maculicollis* (Motschulsky)^[21] 等昆虫的“温度—发育速率”模型一致。另外,本文根据有效积温法则建立的线性日度模型 $T=13.02+198.00V$ 和 Logistic 模型 $V=0.122922/(1+e^{4.9167-0.1958T})$ 均能反映发育速率与温度的关系。然而,线性日度模型虽然能在适温区内较好地模拟昆虫的发育速率随着温度的升高而加快的现象,但不能反映在高温区和低温区发育速率随着温度的升高或降低而趋向于平缓的特点,而 Logistic 模型却能较好地反映出这一特点^[9,23]。以最适温度 25.11℃ 为例,计算出的发育速率分别为 0.0611 和 0.0615,结果相差 -0.0004。然而,在高温 38.00℃ 和低温 12.00℃ 时的发育速率分别相差 0.0124 和 -0.0139。对比可见,高温时线性日度模型的发育速率比 Logistic 模型快,低温时比 Logistic 模型慢,最适温度时两种模型的发育速率相差不大。所以进行突背蔗犀金龟成虫发生期的预测时应采用 Logistic 模型。

发育起点温度和有效积温是昆虫的基础生物学特征值,也是监测其发育动态并进行发生期预测预报的重要推算依据^[24]。在相当广的温度范围内,温度变化本身并不影响发育速率与温度的关系,所以试验条件下得到的发育速率与温度的函数关系能够用来预测昆虫在自然条件下的发育^[25]。但昆虫的生长发育也受湿度、降水、光照和食物等

生态因子的影响,在进行发生期预测时也需结合这些因素加以修正,从而准确地预测成虫发生期,为有效防治提供科学依据。关于突背蔗犀金龟其他虫态的生长发育与温度因子的相关性还有待今后进一步研究。

参考文献

- [1] 胡少波,周锡槐. 广西近年发现的两种蔗龟及其生活习性的初步调查研究[J]. 昆虫学报, 1965, 14(2):146-155.
- [2] 雷仲仁,郭予元,李世访. 中国主要农作物有害生物名录[M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 2014:187.
- [3] 龚恒亮,安玉兴. 中国糖料作物地下害虫[M]. 广州:暨南大学出版社, 2010:10-19.
- [4] Kangoo A M, Khan Z H, Dar S A. Taxonomic study of *Heteronychus robustus* Arrow and *Alissonotum impressicolle* Arrow (Coleoptera: Scarabaeidea: Dynastinae)[J]. Research Journal of Agricultural Sciences, 2010, 1(4): 412-414.
- [5] 商显坤,黄诚华,潘雪红,等. 广西蔗区突背蔗犀金龟分布及为害情况调查初报[J]. 植物保护, 2014, 40(4):130-134.
- [6] 刘传禄,吴洪基,黄彰欣,等. 突背蔗龟成虫生物学特性及防治策略的研究[J]. 甘蔗糖业, 1987(7):37-42.
- [7] 黄应昆,马应忠,华映菊. 云南主要蔗龟的生物学研究[J]. 昆虫知识, 1994, 31(3):156-158.
- [8] 戈峰. 昆虫生态学原理与方法[M]. 北京:高等教育出版社, 2008:29-35.
- [9] 彩万志,庞雄飞,花保祯,等. 普通昆虫学[M]. 北京:中国农业大学出版社, 2001:391-402.
- [10] 王如松,兰仲雄,丁岩钦. 昆虫发育速率与温度关系的数学模型研究[J]. 生态学报, 1982, 2(1):47-57.
- [11] 董江水. 应用 SPSS 软件拟合 Logistic 曲线研究[J]. 金陵科技学院学报, 2007, 23(1):21-24.
- [12] 章元明,盖钧镒. Logistic 模型的参数估计[J]. 四川畜牧兽医

学院学报, 1994, 8:47-52.

- [13] 蔡贤如, 高聿清. Logistic 方程参数优化估计方法研究[J]. 沈阳农业大学学报, 1995, 26(1):64-67.
- [14] 丁岩钦. 昆虫数学生态学[M]. 北京: 科学出版社, 1994:329-332.
- [15] 张孝羲. 昆虫生态及预测预报[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002:217-220.
- [16] 李典谟, 王莽莽. 快速估计发育起点及有效积温法的研究[J]. 昆虫知识, 1986, 23(4):184-187.
- [17] 杜艳丽, 郭洪梅, 孙淑玲, 等. 温度对桃蛀螟生长发育和繁殖的影响[J]. 昆虫学报, 2012, 55(5):561-569.
- [18] 丁尧, 杨群芳, 李庆, 等. 温度对微小花蝽生长发育和繁殖的影响[J]. 昆虫学报, 2016, 59(6):647-653.
- [19] 盛祥耀. 高等数学(上)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007: 106-107.

- [20] 岳健, 何嘉, 张蓉, 等. 多异瓢虫的发育与温度的关系[J]. 昆虫知识, 2009, 46(4):605-609.
- [21] 陈亚丽, 阿地力·沙塔尔, 喻峰, 等. 榆黄毛蚧叶甲的发育起点温度与有效积温的测定[J]. 应用昆虫学报, 2016, 53(1): 185-190.
- [22] 张连翔, 刘朝晖. 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[J]. 辽宁林业科技, 1993(3):31-34.
- [23] 李迎洁, 王梓英, 张国豪, 等. 温度对柑橘始叶螨实验种群生长发育繁殖的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(4):862-868.
- [24] 唐业忠, 朱建国, 况荣平. 发育起点温度的概念和应用问题[J]. 生态学杂志, 1993, 12(6):70-72.
- [25] 刘树生. 昆虫发育速率与温度的关系研究[J]. 科技通报, 1986, 2(5):25-27.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 112 页)

- [2] 薛明, 康俊水, 于晓, 等. 草坪害虫淡剑夜蛾生物学及防治技术的研究[J]. 华东昆虫学报, 2002, 11(1): 68-72.
- [3] 黄东林, 徐忠明, 李建华, 等. 淡剑纹灰翅夜蛾存活发育与繁殖力的初步研究[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2004, 25(1):73-75.
- [4] 黄东林, 蒋芳敏, 徐波, 等. 狗牙根、白花三叶草对淡剑纹灰翅夜蛾生长发育和繁殖的影响[J]. 昆虫知识, 2007, 44(4):527-530.
- [5] 黄东林, 许慧卿. 淡剑纹灰翅夜蛾实验种群生命表[J]. 江苏农业学报, 2004, 20(3):164-168.
- [6] 张宏, 万晓泳, 祝树德. 温度对园林害虫淡剑灰翅夜蛾种群的影响[C]//程家安. 城市害虫综合治理进展——全国第七届城市昆虫学术研讨会论文集. 杭州: 浙江大学出版社, 2005:148-151.
- [7] 吴坤君, 龚佩瑜, 李秀珍, 等. 粘虫的年龄-发育期结构生命表[J]. 昆虫学报, 1994, 37(4):426-434.
- [8] Chi H, Liu H. Two new methods for the study of insect popu-

lation ecology [J]. Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica, 1985, 24(2): 225-240.

- [9] Chi Hsin. Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals [J]. Environmental Entomology, 1988, 17(1): 26-34.
- [10] Chi H. Computer program for the age-stage, two-sex life table analysis [DB/OL]. National Chung Hsing University, Taichung Taiwan. <http://140.120.197.173/Ecology/Download/Twosex-MSChart.rar/>. 2016.
- [11] Huang Y B, Chi H. Life table of *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: tephritidae): with an invalidation of the jackknife technique [J]. Journal of Applied Entomology, 2013, 137(5):327-339.
- [12] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 117 页)

- [11] 阎雄飞, 李刚, 刘永华, 等. 枣食芽象甲越冬幼虫空间分布型和抽样技术研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(31): 285-289.
- [12] 佳县地方志编纂委员会. 佳县志[M]. 西安: 陕西旅游出版社, 2008:35-36.
- [13] Iwao S. Application of the $M^* - M$ method to the analysis of spatial patterns by changing the quadrat size [J]. Researches on Population Ecology, 1972(14): 97-128.
- [14] Taylor L R, Woivod I P, Perry J N. The density-dependence of spatial behavior and the rarity of randomness [J]. Journal of Animal Ecology, 1978(47): 383-406.
- [15] 兰星平. 种群聚集度指标回归模型群在检验昆虫种群空间分布型中的应用[J]. 贵州林业科技, 1995, 23(1): 40-52.
- [16] Blackith R E. Nearest-neighbour distance measurements for the estimation of animal populations [J]. Ecology, 1958(39): 147-150.

- [17] 李哲, 季荣, 谢宝瑜, 等. 论昆虫空间生态学研究[J]. 昆虫知识, 2004, 40(1): 1-6.
- [18] 曲辉, 李腾友, 江冬, 等. 辽宁省稻水象甲成虫的空间分布型及抽样方法的研究[J]. 沈阳农业大学学报, 1998, 29(1): 30-33.
- [19] 朱俊庆, 商建农, 郭敏明. 茶丽纹象甲空间分布型及抽样技术的研究[J]. 昆虫知识, 1988(5): 277-280.
- [20] 周崇和, 魏余煌. 稻象甲成虫空间格局参数特征及其应用[J]. 昆虫知识, 1990(5): 271-274.
- [21] 黄水金, 章根平, 裴润根, 等. 稻象甲成虫空间分布型的研究[J]. 江西农业学报, 2000, 12(4): 30-35.
- [22] 丁岩钦. 昆虫种群生态学原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 22-57.

(责任编辑: 田 喆)