第47卷 第9期
2011年9月

林 业 科 学
SCIENTIA SILVAE SINICAE

Vol. 47, No. 9
Sep., 2011

长足大竹象幼虫种群动态及其气候预测模型*

杨瑶君[1] 秦 虹[3] 邓光明[3] 汪淑芳[1] 廖莉容[1] 刘 超[1] 李仕贵[2]

(1. 乐山师范学院化学与生命科学学院 乐山 614004; 2. 四川农业大学 雅安 625014;
3. 四川省沐川县林业局 沐川 614500)

摘 要: 2004—2008年于四川沐川定期调查长足大竹象为害的3个慈竹林内所有竹笋上的幼卵和幼虫密度变化,运用主成分、相关和通径分析及决策系数研究影响幼虫种群变化的主要气候因子。结果表明:幼虫种群变化呈单峰型,8月为高峰期,10月上旬以后虫口密度逐渐趋向于0水平。长足大竹象幼虫种群变化最主要的限制因子是旬平均气温,最主要的决策因素是旬最低气温。8种函数拟合表明平均虫口密度与旬平均气温、旬最低气温之间分别用直线函数方程 $Y = -0.535 + 0.031X$、对数函数方程 $Y = -1.594 + 0.600\ln X$ 拟合的效果最好,据此建立平均虫口密度气候预测表,提出长足大竹象防治的温度指标为旬平均温度21.5 ℃或旬最低温度17.7 ℃。

关键词: 长足大竹象; 幼虫种群动态; 预测模型; 平均气温; 最低气温

中图分类号: S763.302; S763.305 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-7488(2011)09-0082-06

Larvae Population Dynamics of *Cyrtatrachelus buqueti* and the Forecasting Models with Climate Factors

Yang Yaojun[1] Qin Hong[3] Deng Guangming[3] Wang Shufang[1] Liao Lirong[1] Liu Chao[1] Li Shigui[2]

(1. *Chemistry and Bioscience College*, *Leshan Normal University* *Leshan* 614004; 2. *Sichuan Agricultural University* *Ya'an* 625014;
3. *Forestry Bureau of Muchuan County* *Muchuan* 614500)

Abstract: Ground life history of *Cyrtatrachelus buqueti*, a main bamboo pest, is markedly impacted by temperature. From 2004 to 2008, the eggs and larvae in all bamboo shoots in three plots of a bamboo forest were regularly investigated in Muchuan, Sichuan Province. The principal component analysis, as well as correlation and path analysis and decision coefficient, was conducted to study effects of main climate factors on larvae population dynamics. The results showed that the larvae population fluctuation exhibited a single peak, occurred in August, and the larvae population density gradually tended to zero level after early October. The results suggested that the most important limiting-factor and the most important decision factor of larvae population fluctuation were respectively the mean temperature and the minimum temperature. Two forecasting models for the larvae population fluctuation were established, i. e., *C. buqueti* larvae density (Y) and mean temperature (X) follow the equation of $Y = -0.535 + 0.031X$ and *C. buqueti* larvae density (Y) and minimum temperature (X) follow the equation of $Y = -1.594 + 0.600\ln X$. Based on these results, forecast tables for *C. buqueti* larvae density were provided, and two temperature guide lines, mean temperature of ten days 21.5 ℃ or minimum temperature of ten days 17.7 ℃, for controlling larvae density of *C. buqueti*, were suggested too.

Key words: *Cyrtatrachelus buqueti*; larvae population dynamics; forecasting model; mean temperature; minimum temperature

长足大竹象(*Cyrtatrachelus buqueti*)是当前竹林的主要害虫,国家林业局(检防函[2003]14号)将长足大竹象列为我国林业危险性有害生物之一。该虫属鞘翅目象甲科昆虫,在四川沐川等地每年成虫7月上旬开始出土,地上生活约1个月后,老熟幼虫入土化蛹,以成虫在地下越冬,地下生活约11个月(王维德等, 2002; 李涛等, 2005)。长足大竹象具有在夏季高温气候条件下迅速完成其地上生活史的习性。此习性提示夏季气候因子可能显著影响该虫种群动态变化,二者之间很可能存在某种相关关系,分析这种相关关系有利于利用气候因子对长足大竹象种群变化进行预测。

收稿日期: 2010-02-23; 修回日期: 2010-05-11。

基金项目: 四川省基础研究项目"长江上游竹林主要害虫的寡食机制及其种群变化的预测模型研究"(010JY0038); 乐山市招标项目"长足大竹象的综合防治研究与示范推行"(07NZB117)。

* 李仕贵为通讯作者。

对长足大竹象，已有的报道主要集中在生活习性、危害特性及防治技术等方面（王维德等，2002；2005；李涛等，2000；2005；陈封政等，2005；鞠瑞亭等，2005）。有关长足大竹象种群动态的研究尚鲜见报道。国内外有关昆虫的种群变化及其与环境变化的关系在果蝇（*Drosophila*）、桔小实蝇（*Bactrocera dorsalis*）、蚜虫及叶甲等昆虫上先后有报道（Biémont *et al*., 2009；Farrell，2009；Kishimoto-Yamada *et al*., 2008；吕欣等，2008），有关竹林有害昆虫种群变化与气候预测模型的研究尚未见报道。

本文采用定点观察等方法，主要探讨以下 3 个问题：1）长足大竹象幼虫种群的变化规律；2）影响幼虫种群变化的关键气候因子；3）幼虫种群变化的气候预测模型，以期为长足大竹象幼虫种群变化的预报、预警以及防治方案的制定提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　长足大竹象的幼虫密度调查

2004—2008 年于四川沐川县沐溪镇根据上年受害竹笋痕迹，选择受害程度重、中、轻（竹笋受害率分别为 >40%、20% ~40%、<20%）（王维德等，2002；李涛等，2005）共 3 个，面积分别为6 670 m^2 的慈竹（*Heosinocalamus affinis*）林为观察样地，每个样地竹丛密度为 50 ~55 丛左右，地面清杂，常规管理，不施药，不间伐。每年 7 月上旬—10 月上旬长足大竹象地上活动期间，每 10 天调查样地中央面积为 666.7 m^2 的样方（立桩标记）内所有竹笋的幼卵数、幼虫数，计算 7 月上旬—10 月上旬每旬样地平均虫口（包括卵和幼虫）密度。

1.2　分析方法

基于生物气候图理论（南京农业大学，1985），结合同期同区域内沐川县气象局观测的气象数据，运用主成分、相关与通径分析及决策系数对旬平均虫口密度与其同旬的 6 种气候因子：旬平均气温（X_1）、旬最高气温（X_2）、旬最低气温（X_3）、旬降雨量（X_4）、旬降雨日数（X_5）及旬日照时数（X_6）进行关联分析（吕欣等，2008；唐启义等，2002；何东进等，2000；袁志发等，2001），气象数据源于沐川县气象局。基于分析结果，分别用直线函数、对数函数、幂函数、指数函数、双曲线函数、一元二次函数、一元三次函数和一元四次函数共 8 种不同的函数模型对幼虫虫口密度与关键气候因子的关系进行拟合，建立最优的数学预测模型（贾乃光，1993；Kriticos *et al*., 2009）。

1.3　数据分析

应用 SPSS16.0 分析软件对数据进行处理（郭宝林等，2000；唐守正，1990），曲线图采用 Microsoft Office Excel 2003 软件绘制。对主成分分析，选出主成分的标准是主成分占总信息量的 90% 以上（吕欣等，2008；郭宝林等，2000）。气候因子对虫口密度的决策系数 R_i^2 根据公式 $R_i^2 = 2P_i r_{iy} - P_i^2$ 计算（P_i 为气候因子对虫口密度的通径系数，r_{iy} 为气候因子与虫口密度的相关系数）（袁志发等，2001；陈鹏等，2006）。

2　结果与分析

2.1　长足大竹象幼虫旬消长动态

2004—2008 年 7 月上旬—10 月上旬每旬平均虫口密度如图 1 所示，在长足大竹象地上活动期，观察样地幼虫种群动态呈单峰型。7 月上旬虫口密度低于每笋 0.10 头，除 2005 年 8 月上旬虫口密度降低、9 月中旬虫口密度增加外，7 月中旬至 8 月上旬为增长期，8 月中旬及以后逐渐降低，至 10 月上旬虫口密度均低于每笋 0.02 头。根据图 1，长足大竹象幼虫的高峰期主要集中在 8 月上旬至下旬，仅 2005 年高峰期延长至 9 月中旬，高峰期旬平均虫口密度均大于每笋 0.29 头。虫口密度峰值 2005 年出现在 9 月中旬，2006 年出现在 8 月中旬，其余 3 年出现在 8 月上旬。对旬平均虫口密度变化进行年度间的 *F* 测验，所观察的 5 年年度间差异不显著（$F_{4,36} = 0.098, P = 0.960$），表明年度间旬虫口密度变化趋势基本一致，年度幼虫种群变化规律是 7 月上旬幼卵密度很低，7 月中旬虫口密度逐渐增加，8 月上旬至下旬为高峰期，9 月中旬以后虫口密度显著降低，10 月上旬以后虫口密度逐渐趋向于 0

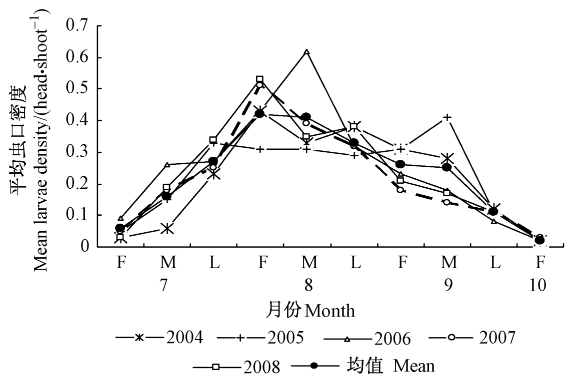

图 1　2004—2008 年四川沐川幼虫种群动态

Fig. 1　Larvae population variation of *C. buqueti* from 2004 to 2008 in Muchuan, Sichuan Province

F：上旬 First ten days；M：中旬 Middle ten days；L：下旬 Last ten days.

水平。

2.2 气候因子对幼虫虫口密度变化的影响

2.2.1 气候因子主成分分析 根据生物气候图理论(南京农业大学,1985),长足大竹象的生长发育、虫口消长变动与温度、降水量、光照等气候因子密切相关,用主成分分析法对2004—2008年7月上旬—10月上旬6种气候因子进行因子分析。

从表1可知:第1主成分的特征值3.491最大,方差贡献率58.181%最高;其次是第2主成分,其特征值为1.950,方差贡献率为32.503%;第3—第6主成分的方差贡献率明显减少,依次分别为6.392%,2.276%,0.560%,0.090%。第1,2主成分的累计方差贡献率为90.683%,根据主成分的选出标准,将第1,2主成分作为气候因子选择的综合指标来分析四川沐川长足大竹象幼虫虫口密度变动。

表1 四川沐川气候因子主成分分析表

Tab.1 The results of principal component analysis of climate factors in Muchuan, Sichuan Province

主成分 Principal component	均值 Mean	标准差 SD	特征向量 Eigenvector						特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate(%)	累计贡献率 Cumulative (%)
			X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6			
Y_1	24.700	3.003	0.526	0.529	0.522	0.251	0.046	0.325	3.491	58.181	58.181
Y_2	29.704	3.449	-0.005	-0.019	-0.006	0.551	0.687	-0.473	1.950	32.503	90.683
Y_3	21.178	3.203	-0.260	-0.186	-0.253	0.637	-0.076	0.649	0.384	6.392	97.075
Y_4	76.358	63.703	-0.084	-0.043	-0.016	-0.473	0.719	0.497	0.137	2.276	99.351
Y_5	4.080	1.536	0.412	0.401	-0.808	-0.033	0.033	0.000	0.034	0.560	99.910
Y_6	59.520	9.208	0.721	-0.750	0.000	0.014	0.014	0.057	0.005	0.090	100.000

根据表2各气候因子的荷载大小排列,第1主成分中,旬最高温度(X_2)、旬平均温度(X_1)、旬最低温度(X_3)的荷载均较大,分别为0.989,0.982,0.976,表明第1主成分代替了旬平均气温(X_1)、旬最高气温(X_2)、旬最低气温(X_3)作用,称之为温度因子,第1主成分的方差贡献率最大,表明温度的作用最大。第2主成分中,旬雨日数(X_5)的荷载0.959最大,其次是旬降雨量(X_4)的荷载0.770,表明第2主成分代替了旬降雨量(X_4)和旬雨日数(X_5)的作用,称之为雨量因子。

表2 四川沐川气候因子主成分荷载

Tab.2 Weight values of climate factors in Muchuan, Sichuan Province

旬气候因子 Climate factors of ten days	第一主成分 First principal component	第二主成分 Second principal component
X_2	0.989	-0.027
X_1	0.982	-0.007
X_3	0.976	-0.009
X_5	0.086	0.959
X_4	0.469	0.770
X_6	0.607	-0.660

2.2.2 幼虫虫口密度变化与气候因子的相关与通径分析 应用相关与通径分析进一步研究虫口密度与气候因子的关系。由表3可知:幼虫虫口密度与旬平均气温(X_1)、旬最高气温(X_2)、旬最低气温(X_3)极显著正相关($P<0.01$),与旬日照时数(X_6)显著正相关($P<0.05$),而与旬降雨量(X_4)和旬降雨日数(X_5)相关不显著($P>0.05$),其中与X_5呈负相关。对幼虫虫口密度与6个气候因子间的线性关系进行显著性测验,其F值为8.410,达到极显著水平($P<0.01$),表明虫口密度与6个气候因子间存在极显著的线性关系,复相关系数为0.735,达到显著水平($P<0.05$),相关系数的平方得到决定系数为0.540,表明此6个气候因子是幼虫种虫口密度变化的主要影响因素。

将相关系数剖分为直接作用和通过其他因子的间接影响2部分做进一步的通径分析,由表3可知:对幼虫虫口密度变化直接作用绝对值最大的是旬平均气温(X_1),为-2.418,最小的是旬降雨量(X_4),为-0.037。间接作用总和绝对值最大的是旬平均气温(X_1)为3.033,最小的为旬降雨量(X_5)为0.184。直接作用3个温度因子X_1,X_2和X_3的绝对值均大于1并大于其他因子,除X_2和X_3为正值外,其余均为负值;间接作用总和则相反,X_2和X_3均为负值,其余均为正值。由间接作用分析知:5个气候因子通过X_1对幼虫虫口密度影响的间接作用均为负值且值最小,除X_5外,通过X_2对幼虫虫口密度影响的间接作用均为正值且值最大。可见,旬平均气温(X_1)、旬最高气温(X_2)和旬最低气温(X_3)是影响虫口密度变化的3个重要气候因子。

表 3　影响四川沐川长足大竹象虫口密度变动的气候因子的相关与通径分析[①]

Tab. 3　Correlation and path analysis between the population fluctuations of *C. buqueti* and climate factor in Muchuan, Sichuan Province

气候因子 Climate factor	相关系数 Correlative coefficient	直接作用 Direct path coeffiecient	间接作用总和 Total of indirect path coefficient	间接作用 Indirect path coefficient X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	决策系数 Decision coefficient
X_1	0.616**	-2.418	3.033		2.046	1.191	-0.015	-0.02	-0.169	-8.826
X_2	0.638**	2.061	-1.422	-2.401		1.19	-0.015	-0.015	-0.181	-1.618
X_3	0.670**	1.223	-0.553	-2.353	2.005		-0.014	-0.021	-0.17	0.143
X_4	0.152	-0.037	0.189	-0.958	0.822	0.478		-0.184	0.031	-0.013
X_5	-0.075	-0.258	0.184	-0.186	0.124	0.098	-0.026		0.174	-0.028
X_6	0.372*	-0.318	0.689	-1.283	1.173	0.653	0.004	0.142		-0.338

①“**”,“*”分别代表 1% 和 5% 的显著水平 Indicating significance at 1% and 5% level, respectively. 下同 The same below.

2.2.3　气候因子对幼虫虫口密度变化的决定程度分析　各气候因子对虫口密度的决策系数列于表 3,6 个气候因子的决策系数 $R_1^2,R_2^2,R_3^2,R_4^2,R_5^2,R_6^2$ 分别为 -8.826, -1.618, 0.143, -0.013, -0.028, -0.338,按大小排序为 $R_3^2>R_4^2>R_5^2>R_6^2>R_2^2>R_1^2$。仅 R_3^2 为正值且最大,表明旬最低气温对幼虫虫口密度变化的综合作用最大,是影响虫口动态最主要的决策因素,其原因是它的直接作用为较大的正值,通过 X_2 对虫口密度的增进作用也较大,除 X_1 外,其他 3 个因子对它的限制作用较小。除 R_3^2 外,其他5 个气候因子对应的决策系数为负值,是影响虫口动态的限制因素,其中,R_1^2 最小且绝对值较大,旬平均气温是最主要的限制因素,原因是其对虫口密度的直接限制作用最大,其次是 R_2^2,其绝对值也较大,旬最高气温也是重要的限制因素。

综上所述,3 个温度因子旬平均气温、最低气温和最高气温是影响长足大竹象幼虫种群变化的重要气候因子,其中,旬最低气温是最主要的决策因素,其升高或降低,虫口密度可能对应升高或降低,旬平均气温是幼虫种群变化最主要的限制因素,其次是旬最高气温,虫口密度的上升或下降主要受此两因素的限制。

2.2.4　气候因子对虫口密度的最佳预测方程　对幼虫虫口密度变化最主要的决策因素旬最低气温和最主要的限制因素旬平均气温,二者均与虫口密度变化呈极显著相关,用直线函数、对数函数、幂函数、指数函数、一元二次函数、一元三次函数、一元四次函数、双曲线函数 8 种不同的函数拟合旬平均气温、旬最低气温与虫口密度之间最佳的函数方程,结果列于表 4。

表 4　长足大竹象幼虫平均虫口密度与旬平均气温、最低气温的拟合方程

Tab. 4　Fitting models among mean temperature, minimum temperature and mean larval density of *C. buqueti*

变量 Variable	函数名称 Function	拟合方程 Fitting equation	相关系数 r	标准误 SE	残差平方和 SSE
平均虫口密度(Y)与旬平均气温(X) Mean larval density (Y) and mean temperature of ten days (X)	直线函数 Linearity function	$Y=-0.535+0.031X$	0.616**	0.120	0.693
	对数函数 Logarithmic function	$Y=0.728\ln X-2.099$	0.613**	0.120	0.696
	幂函数 Power function	$Y=3.08\text{E-}8X^{4.839}$	0.627**	0.772	0.788
	指数函数 Exponential function	$Y=0.001\,2e^{0.199X}$	0.610**	0.785	0.797
	一元二次函数 Quadratic function	$Y=-0.402+0.020X+0.000\,2X^2$	0.616**	0.121	0.703
	一元三次函数 Cubic function	$Y=-0.416+0.023X+4.291\text{E-}6X^3$	0.616**	0.121	0.697
	一元四次函数 Quartic function	$Y=-0.420+0.024X+1.123\text{E-}7X^4$	0.616**	0.121	0.698
	双曲线函数 Hyperbolic function	$Y=1/(-57.731+1\,666.571/X)$	0.651**	10.776	5.526
平均虫口密度(Y)与旬最低气温(X) Mean larval density (Y) and minimum temperature of ten days(X)	直线函数 Linearity function	$Y=0.439+0.032X$	0.670**	0.113	39.980
	对数函数 Logarithmic function	$Y=-1.594+0.600\ln X$	0.655**	0.115	0.637
	幂函数 Power function	$Y=4.53\text{ E-}7X^{4.208}$	0.707**	0.701	0.649
	指数函数 Exponential function	$Y=0.001\,84e^{0.212X}$	0.691**	0.716	0.655
	一元二次函数 Quadratic function	$Y=0.168-0.031X+0.002X^2$	0.683**	0.113	2.736
	一元三次函数 Cubic function	$Y=-0.004-0.002X+2.729\text{E-}5X^3$	0.684**	0.112	0.962
	一元四次函数 Quartic function	$Y=-2.308+0.314X-0.012X^2+5.270\text{E-}6X^4$	0.696**	0.112	2.657
	双曲线函数 Hyperbolic function	$Y=1/(-47.798+1\,208.747/X)$	0.755**	9.311	6.479

对虫口密度与旬平均气温进行拟合的 8 种函数方程中,相关系数在 0.610～0.651 之间,均达到极

显著水平($P<0.01$),以双曲线函数 0.651 最大、指数函数 0.610 最小;标准误以双曲线 10.776 最大、直线函数和对数函数相同且最小,均为 0.120;残差平方和以双曲线函数 5.526 最大、直线函数 0.693 最小。

对平均虫口密度与旬最低气温进行拟合的 8 种函数方程,其相关系数在 0.655 ~ 0.755 之间,均达到极显著水平($P<0.01$),以双曲线函数 0.755 最大、指数函数 0.655 最小(表 4);标准误以双曲线函数 9.311 最大、一元三次和一元四次函数相同且最小,均为 0.112;残差平方和以直线函数 39.980 最大、对数函数 0.637 最小。

相关系数越大,说明相关性越强,离回归标准误和残差平方和越小,说明函数的拟合值越靠近回归线,效果越佳,由此可判定平均虫口密度与旬平均气温、旬最低气温之间分别用直线函数方程 $Y=-0.535+0.031X$、对数函数方程 $Y=-1.594+0.600\ln X$ 拟合的效果最好。

2.3 长足大竹象虫口密度的预测

根据长足大竹象成虫每年 7 月上旬出土的生活习性,温度的取值宜在10 ℃以上,对旬平均气温和最低气温取10 ℃以上不同的值代入上述最佳预测方程,求得对应的平均虫虫口密度预测值列于表 5。从表 5 可以看出:7 月上旬—10 月上旬长足大竹象地上活动期间,旬平均温度低于17 ℃或最低温度低于14 ℃,虫口密度的预测值为 0。实际观察到每年 10 月上旬及其以后,虫口密度很低并趋向 0 水平,所观测的 5 年,10 月上旬平均最低温度14.3 ℃,2004 年 10 月上旬平均温度17.1 ℃,2004—2008 年 10 月上旬平均温度19.1 ℃,表明预测值与实际观察值具有一致性。从表 5 可知:当旬均温超过33 ℃,或旬最低温超过32 ℃,虫口密度的预测值超过每笋0.5 头,因长足大竹象的蛀食幼虫 1 头足以危害 1 个竹笋,此时竹笋的危害率可能达到 50% 以上。因此,在正常气候条件下,在长足大竹象危害期,根据表 5 可预测不同旬平均气温和最低气温下的幼虫平均虫口密度。

表 5 基于旬平均气温和旬最低气温的平均虫口密度预测[①]

Tab.5 Forecast value based on mean temperature and minimum temperature for larval density of *C. buqueti*

旬平均温度 MTTD/℃	虫口密度预测值 FMLD/(ind·shoot^{-1})	旬平均温度 MTTD/℃	虫口密度预测值 FMLD/(ind·shoot^{-1})	旬最低温 MTTD/℃	虫口密度预测值 FMLD/(ind·shoot^{-1})	旬最低温 MTTD/℃	虫口密度预测值 FMLD/(ind·shoot^{-1})
17	0	29	0.364	14	0	26	0.361
18	0.023	30	0.395	15	0.031	27	0.384
19	0.054	31	0.426	16	0.07	28	0.405
20	0.085	32	0.457	17	0.106	28	0.405
21	0.116	33	0.488	18	0.14	29	0.426
22	0.147	34	0.519	19	0.173	30	0.447
23	0.178	35	0.55	20	0.203	31	0.466
24	0.209	36	0.581	21	0.233	32	0.485
25	0.240	37	0.612	22	0.261	33	0.504
26	0.271	38	0.643	23	0.287	34	0.522
27	0.302	39	0.674	24	0.313	35	0.539
28	0.333	40	0.705	25	0.337	36	0.556

① MTTD: Mean temperature of ten days; FMLD: Forecasted mean larval density.

3 结论与讨论

本研究结果与桔小实蝇等昆虫的相关研究结果有所不同。O'Bannon 等(1972)研究了佛罗里达州柑橘寄生线虫种群的季节变化规律,结果表明:寄生线虫 *Tylenchulus semipenetrans* 的种群数量在 4—5 月、11—12 月为高水平值,而 2—3 月、8—9 月为低水平值。吕欣等(2008)认为月平均降雨量是影响广州桔小实蝇种群变化的关键因子,陈鹏等(2007)分析表明低温是导致云南六库桔小实蝇季节性发生的关键因素,Sempala(2009)分析提出乌干达寨卡森林伊蚊(*Aedes africanus*)的幼虫种群随降雨量的季节分配而发生变化。本研究表明:长足大竹象因不同的生活习性和寡食竹笋,种群变化有所不同,在 7 月上旬—10 月上旬地上活动期内,8 月为幼虫密度的高峰期,旬平均气温是长足大竹象幼虫种群变化的最主要的限制气候因子,旬最低气温则是最主要的决策因素。在研究地四川,8 月正是每年的高温季节,此时旬平均气温和最低气温均处于较高或最高值期,对种群繁殖十分有利,这表明长足大竹象幼虫密度的高峰期与气温的高峰值具有统一性。

在森林害虫虫口密度与流脂点数、有害株率、气候因子等相关因素的最优函数关系研究上,本研究也与萧氏松茎象(*Hylobitelus xiaoi*)等昆虫的相关研

究不同。温小遂等(2005)通过对湿地松(*Pinus elliottii*)林有虫株率和虫口密度的调查发现：有虫株率和萧氏松茎象虫口密度之间的关系可用指数函数来描述；而罗永松等(2006)则认为：湿地松林的萧氏松茎象流脂点与虫口密度之间的关系符合幂函数。本研究表明：长足大竹象平均虫口密度与旬平均气温、旬最低气温之间的函数关系分别符合直线函数和对数函数关系。

在长足大竹象幼虫种群预测上，还宜考虑食源和降雨 2 个重要因子。长足大竹象为寡食性昆虫，主要取食幼嫩的丛生竹笋尖部(王维德等，2005)，其幼虫种群密度的增加要以丰富的竹笋作为保证。李涛等(2005)对竹笋的发生规律调查表明：沐川竹林发笋盛期在 8 月上旬—8 月中旬。本文 5 年的调查表明长足大竹象的幼虫高峰期为 8 月上旬至下旬，即虫笋同步。降雨也影响长足大竹象幼虫种群发生。7 月降雨增加，土壤阻力降低，有利于长足大竹象成虫出土，9 月中旬以后降雨增加，对老熟幼虫入土化蛹有利。若 7 月成虫出土期降雨量偏少，对成虫出土不利，幼虫密度可能相对降低或者高峰期推迟。若 9—10 月降雨量降低，甚至出现干旱，对老熟幼虫入土和化蛹不利，来年幼虫密度可能相对降低。7 月降雨量多、8 月气温升高、食源充足十分有利于长足大竹象成虫出土产卵和幼虫大群体的形成，是该虫暴发成灾的主要原因。

本研究表明长足大竹象地上生活史与温度显著相关。根据杨瑶君等(2009)提出的长足大竹象防治指标：幼虫平均虫口密度每笋 0.13 头，结合上述温度预测最佳方程，可推知当竹材市场平均价格 0.50 元·kg^{-1}，平均竹材产量9 000 kg·hm^{-2}，平均防效 75%、平均防治费用 375 元·hm^{-2}条件下，长足大竹象防治的气候参考指标为旬平均温度21.5 ℃或旬最低温度17.7 ℃。根据本文研究结果，在长足大竹象危害期，观测竹林区的旬平均温度或最低温度可预报幼虫虫口密度并参考气候防治指标对长足大竹象进行及时防治虫，省工省时。本研究为研究区和相似区域幼虫虫口密度的预报、预警和制定经济合理的防治方案提供了参考依据，具有重要的应用价值。

参 考 文 献

陈封政，王维德，王雄清，等. 2005. 长足大竹象的发生危害与防治. 植物保护，31(2)：89 - 90.

陈　鹏，叶　辉，刘建宏. 2006. 云南瑞丽桔小实蝇成虫种群数量变动及其影响因子分析. 生态学报，26(9)：2801 - 2807.

陈　鹏，叶　辉. 2007. 云南六库桔小实蝇成虫种群数量变动及其影响因子分析. 昆虫学报，50(1)：38 - 45.

郭宝林，杨俊霞，李永慈. 2000. 主成分分析法在仁用杏品种主要经济性状选种上的应用研究. 林业科学，36(6)：53 - 56.

何东进，洪　伟，崔春英. 2000. 通径分析在毛竹枯梢病研究中的应用. 福建林学院学报，20(3)：203 - 206.

贾乃光. 1993. 数理统计. 2 版. 北京：中国林业出版社，166 - 212.

鞠瑞亭，夏翠华，徐俊华. 2005. 上海地区长足大竹象初报. 中国森林病虫，24(2)：9 - 11.

李　涛，高志兴，邓光明. 2005. 长足大竹象的危害特性和防治技术. 四川林业科技，26(6)：43 - 46.

李　涛，徐学勤，周泽贵. 2000. 长足大竹象生物学特性的初步研究. 四川林业科技，21(3)：49 - 51.

吕　欣，韩诗畴，徐洁莲，等. 2008. 广州桔小实蝇发生动态及气象因子. 生态学报，28(4)：1850 - 1856.

罗永松，黄昌华，温小遂，等. 2006. 萧氏松茎象幼虫有虫株率与虫口密度相关关系. 中国森林病虫，25(5)：15 - 18.

南京农业大学. 1985. 昆虫生态及预测预报. 北京：农业出版社.

唐启义，冯明光. 2002. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统. 北京：科学出版社.

唐守正. 1990. 多元统计分析. 北京：中国农业出版社.

王维德，陈封政，王雄清. 2005. 长足大竹象繁殖行为的初步研究. 四川动物，24(4)：540 - 541.

王维德，王雄清，陈封政. 2002. 沐川县竹林主要害虫大竹象的调查. 乐山师范学院学报，19(4)：49 - 50.

温小遂，唐艳龙，施明清. 2005. 萧氏松茎象有虫株率与虫口密度关系的研究. 江西农业大学学报，27(6)：843 - 846.

杨瑶君，汪淑芳，弓加文，等. 2009. 长足大竹象虫口密度与虫孔数、竹笋受害率的关系，应用生态学报，20(8)：1980 - 1986.

袁志发，周静芋，郭满才，等. 2001. 决策系数 - 通径分析中的决策指标. 西北农林科技大学学报：自然科学版，29(5)：131 - 133.

Biémont C, Lemeunier F, Guerreiro M P G, *et al.* 2009. Population dynamics of the copia, mdg1, mdg3, gypsy, and P transposable elements in a natural population of *Drosophila melanogaster*. Genetics Research, 63(3): 197 - 212.

Farrell J A K. 2009. Effects of groundnut crop density on the population dynamics of *Aphis craccivora* Koch (Hemiptera, Aphididae) in Malawi. Bulletin of Entomological Research, 66(2): 317 - 329.

Kishimoto-Yamada K, Itioka T, Sakai S, *et al.* 2008. Population fluctuations of light-attracted chrysomelid beetles in relation to supra-annual environmental changes in a Bornean rainforest. Bull Entomol Res, 31: 1 - 11.

Kriticos D J, Watt M S, Withers T M, *et al.* 2009. A process-based population dynamics model to explore target and non-target impacts of a biological control agent. Ecological Modelling, 220(17): 2035 - 2050.

O'Bannon J H, Radewald J D, Tomerlin A T. 1972. Population fluctuation of three parasitic nematodes in Florida Citrus. J Nematol, 4(3): 194 - 199.

Sempala S D K. 2009. Seasonal population dynamics of the immature stages of *Aedes africanus* (Theobald) (Diptera: Culicidae) in Zika Forest, Uganda. Bulletin of Entomological Research, 73(1): 11 - 18.

(责任编辑　朱乾坤)