

Pearson III 函数变型在昆虫动态 模拟中的应用

张文军

(植保系)

摘 要

本文在Pearson III型分布密度函数基础上提出了Pearson III函数变形模型。在对田间多点观测资料进行模拟研究后认为,该方程能广泛地适用于一类生物学现象,并在害虫为害比较天敌效果评价及防治决策研究中具有重要的应用价值。

关键词: Pearson III; 函数变型; 昆虫; 模拟

昆虫种群生态过程的数学模拟,一般多以单种种群在某一世代不同发育阶段中的数量变动为基础^[1],有关这方面的研究,前人已作了大量的工作,但如何寻找具有广泛适用性,一定精确性及简便性的生态过程模拟方法,仍是许多研究者所探讨的问题。文献[2]曾提出用对称分布函数拟合发育时间分布曲线的方法。沈佐锐等^[3]应用了Pearson III分布函数拟合菜蚜的种群空间分布型,Johnson等^[4]、Solomon等^[5]也从数学角度出发探讨了Pearson III函数的计算方法。所有这些研究均是在以函数积分为1的基础上进行的,因而不适于昆虫种群数量动态的变化。文献[6]提出的用正态分布函数变化型模拟害虫种群数量动态的方法,仅能适用于发生消长呈对称型的害虫,实际上大部分害虫的种群动态具有不同程度的偏态,因而就有必要找到一种可处理此种现象的数学模型。

本文在Pearson III密度函数的基础上,提出了一个四参数模拟方程,可适用于上述所有的生态学过程。由于该方程具有很强的变通性,因而特别适用于r-对策的害虫种群动态的变化。

1 材料与方法

本研究的基本数据来自1986年5~9月在西北农大农一站棉田中的调查。棉田约1亩,4月20日播种(品种为陕-401)。整个生长期中不施农药防治,其它管理措施按常规进行。

在棉田中棋盘式固定五点,每点30株棉花,5月14日开始调查各棉株上的棉蚜量、七星瓢虫量及僵蚜量,每隔两日调查一次。棉蚜数量包括无翅蚜与有翅蚜量,七星瓢虫数量包括成虫与幼虫量,计算时将无翅蚜与有翅蚜合并,将七星瓢虫成、幼虫数量分别计算。

2 Pearson III 函数变型及模拟检验

Pearson III分布的概率密度函数为:

$$f(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} (x-c)^{\alpha-1} \exp(-\beta(x-c)) \quad (1)$$

$$(c \leq x < \infty)$$

其中, $\alpha, \beta > 0$, C 为参数, $f(x)$ 为三参数函数, $\alpha > 1$ 时, $f(x)$ 为一单峰函数, $\alpha \leq 1$ 时, $f(x)$ 为一减函数, 其中 $\alpha = 1$ 时为一负指数函数。

由 (1) 可得

$$\int_c^\infty f(x) dx = 1$$

即累积发生频率恒为 1。大多数情况下, 害虫的累积发生量并非为 1, 因而可在方程 (1) 中乘入一个累积量参数 A , 使该方程能与害虫种群数量的变动相吻合:

$$N = A \cdot \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \cdot (t-c)^{\alpha-1} \cdot \exp(-\beta(t-c)) \quad (2)$$

式中, N 为害虫数量, A 为累积发生量, C 为初始发生期, $\alpha > 0$ 为消长类型参数, β 为常数, $\Gamma(\alpha)$ 表示伽玛函数, t 为时间。

这样,

$$\int_c^\infty N dt = A,$$

且 $A = 1$ 时方程 (2) 即成为 (1), 故 (1) 为 (2) 的特例。方程 (2) 即为 Pearson III 函数变型模型。

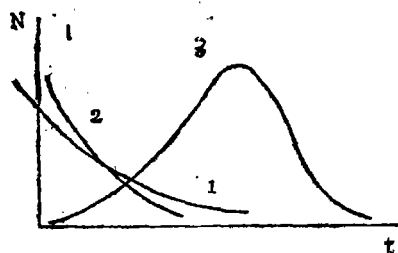


图1 害虫种群动态类型

1. $\alpha=1$; 2. $\alpha<1$; 3. $\alpha>1$

方程 (2) 的曲线形式如图 1 所示。显然, α 即消长类型有如下关系: $0 < \alpha < 1$, 代表剧烈下降类型; $\alpha = 1$, 代表负指数下降类型; $1 < \alpha < \infty$, 代表单峰变化类型。

应用 Marquat 方法^[7]求取 (2) 式中的各参数, 目标函数选为:

$$F = \sum_{i=1}^n (Z_i - N_i)^2 / N_i$$

式中, n 为数据个数, Z_i 为虫量实际值, N_i 为由 (2) 计算的理论值。

拟合效果采用斯米尔诺夫检验, 具体方法为:

$$\text{求} \quad F_n(t_i) = F_n(t_{i-1}) + Z_i / \sum_{j=1}^n Z_j$$

其中 Z_i 为虫量实际值, $F_n(t_i)$ 和 $F_n(t_{i-1})$ 分别为 t_i 时刻和 t_{i-1} 时刻的累积频率实际值。

$$\text{及} \quad F(t_i) = F(t_{i-1}) + N_i / \sum_{j=1}^n N_j$$

其中 N_i 为虫量理论值, $F(t_i)$ 和 $F(t_{i-1})$ 分别为 t_i 时刻和 t_{i-1} 时刻的累积频率理论值。最后计算 $D_n = \max_{1 \leq i \leq n} |F_n(t_i) - F(t_i)|$, 若 $D_n < D_\alpha$, 则在 α 水平上, 模型的拟合效果良

好。本文中的 D_a 分别为 $D_{0.2} = 0.254$, $D_{0.1} = 0.364$ 。

3 结果与讨论

根据多点观测资料,以方程(2)模拟棉蚜的动态。由于七星瓢虫食蚜量及僵蚜动态均为单峰曲线,故也可以用(2)进行模拟,模拟结果如表1所示。

七星瓢虫成虫日食蚜量可采用如下模型求得^[8]:

$$N_A = 283.3p(1 - \exp(-0.00246Np^{-0.768})) \quad (3)$$

式中, N_A 为七星瓢虫日食蚜量, P 为七星瓢虫密度, N 为棉蚜密度。

表1 不同情况下的模拟结果与检验

模拟 类型	参 数				斯氏检验	
	A	C	α	β	Dn	D_a
棉蚜	1474.60530	1.00014	5.31250	0.59218	0.21241	$D_{0.2}$
瓢虫食 蚜量	140.88100	7.67687	3.13089	0.54007	0.28819	$D_{0.1}$
僵蚜	34.42630	1.00000	6.65755	0.54586	0.21301	$D_{0.2}$

田间调查所得有效虫态为成、幼虫两种,将幼虫天敌单位视为0.5折合于成虫中去,连同单株蚜量代入上式可求得 N_A 。

由表1可见,三种模型的模拟效果良好。各种情形下的理论值与实际值比较如图2所示。

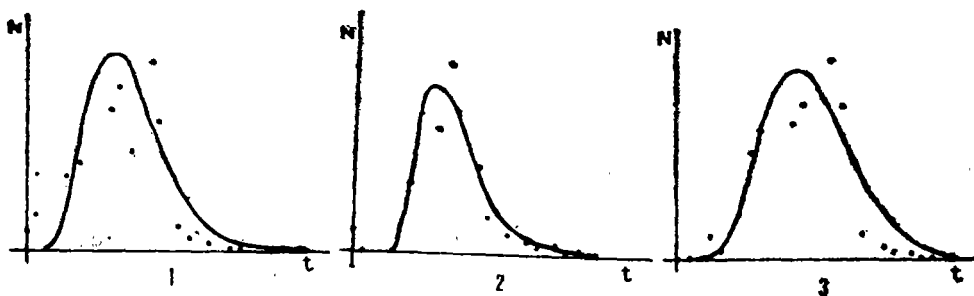


图2 各种情况下害虫动态理论值与实际值

1. 棉蚜; 2. 七星瓢虫食蚜量; 3. 僵蚜

根据方程(2)求得高峰日及高峰数量分别为:

$$t_{max} = \frac{\alpha - 1}{\beta} + c$$

$$N_{max} = A \cdot \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \cdot (t_{max} - c)^{\alpha-1} \cdot \exp(-\beta(t_{max} - c))$$

由此可求得棉蚜,七星瓢虫食蚜量及僵蚜的高峰日分别为8.2525日,11.6225日及11.3646日,高峰数量分别为164.6496头,20.0323头及3.1257头,而实际的高峰日与高峰数量分别为12日、13日及16日,159.72头,22.4331头及3.3267头,考虑到调查日期较长(5月~7月),因而模拟效果是很好的。

将各种情形下的实际累积量动态与理论累积量动态加以比较,发现两者间吻合良好,其结果如图3所示。七星瓢虫食蚜情形有偏差,可能系调查误差,折算方法所致。

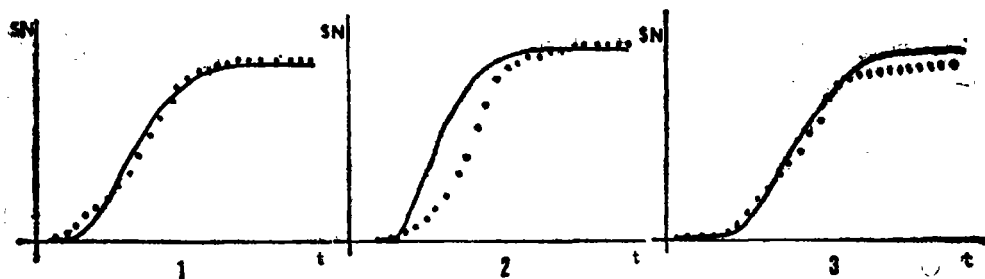


图3 各种情况下害虫累积量理论值与实际值

1. 棉蚜; 2. 七星瓢虫食蚜量; 3. 僵蚜

由多点资料可求得棉蚜的实际累积量为1496.4211头日(未调查日的蚜量以相邻两次调查日的数量线性内插求得,下同),七星瓢虫食蚜实际累积量为145.9032头,僵蚜实际累积量为30.9355头日,与表1中的参数A比较,理论值与实际值十分接近。

由上述分析可知,方程(2)能广泛地描述一类生物学现象。很多害虫,特别是r型害虫,其种群数量动态常呈多种单峰形式,有时呈持续下降形式,在这些情况下,害虫动态均可用方程(2)进行模拟。由方程(2)可推算害虫的累积为害量与天敌累积捕食量,这在害虫综合防治及天敌效果评价中具有一定的重要性。

使用一个有只分运算的袖珍计算器就可方便地计算任意时刻的累积发生量,因而方程(2)在害虫为害以及天敌释放时期的比较研究中具有较高的实用价值。此外,方程(2)的拐点对应横坐标为

$$t_k = t_{max} \pm \sqrt{\frac{\alpha - 1}{\beta}},$$

由此可计算出害虫发生盛期或天敌捕食盛期,因此方程(2)也可以为害虫防治决策研究提供指导。

与其它基于生物学过程的微分或差分方程模型相比,方程(2)的预测性能较差,且 β 的含义尚不确切,但作为模拟模型,(2)仍具有广泛的应用价值。

本文承蒙袁志发先生提出宝贵意见,谨此致谢。

参 考 文 献

- 1 陈维博,陈玉平.昆虫学报,1980;23(2):149—155
- 2 Stinner R E et al. *Can Ent*, 1975; 107: 1167—74
- 3 沈佐锐,管致和等.生态学报,1985;5(4):364—372
- 4 Johnson N L et al. *Biometrika*, 1963; 50(3 and 4): 459—462
- 5 Solomon H, Stephens M A. *J Amer Statist Assoc*, 1978; 73(361): 153—160
- 6 邹祥光著.昆虫生态学的常用数学分析方法(修订版).农业出版社,1982:361—363
- 7 王莽莽,李典汉.生态学报,1986;6(2):142—147
- 8 汪世泽,李平.西北农业大学学报,1986,14(4):13—17

THE APPLICATION OF PEARSON III TRANSFORM IN MODELLING INSECT POPULATION DYNAMICS

Zhang Wenjun

(Department of Plant Protection, Northwestern Agricultural University)

Abstract

Based on the Pearson III function of distribution density, this paper presents the Pearson transform model:

$$N = A \cdot \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \cdot (t - c)^{\alpha-1} \cdot \exp(-\beta(t - c))$$

After the modelling study of data obtained from many points in the fields, it was considered that this equation might be widely used in many biological phenomena, and that it is of great value in insect injury comparison study, natural enemy effect and evaluation of decision-making of control policy.

key words: Pearson III; function transform; insect; simulation