

板齿鼠种群数量中长期预测 的时间序列模型^{*}

何 森 林继球

(中山大学生物学系, 广州, 510275)

翁文英

(中山大学数学系)

摘 要

本文利用时间序列方法(三次指数平滑法),并结合季节指数法,建立了板齿鼠种群数量中长期预测(6个月~1年)的时间序列模型,依据1991年11月~1993年12月在广东省博罗县石湾镇里波水管理区对板齿鼠种群数量动态的调查数据,分别预测了1994年和1995年板齿鼠种群数量的发生,预测准确率达到86.56%。

关键词 板齿鼠; 时间序列; 预测预报

板齿鼠(*Bandicota indica*)是广东省珠江三角洲地区农田的主要害鼠,对水稻、甘蔗、甘薯等农作物的危害十分严重。近年来,其种群数量更呈上升趋势。由于板齿鼠个体较大,成年个体体重一般在500 g以上,且性情机敏,利用传统的夹日或夹夜法调查,板齿鼠的上夹率较低,尤其较难捕获成年个体。因此,对其种群结构、生态特征分析和建立预测模型都造成了一定的困难。

自80年代以来,我国学者对农田重要害鼠种群数量的预测预报已经开展了卓有成效的研究工作(严志堂等,1983,1984;周立,1985;洪朝长等,1989;李典谟等,1991a、b;汪笃栋等,1991;姜运良等,1994;杨跃敏等,1994)。目前,有关农田害鼠种群数量预测预报使用的方法主要为线性回归模型或逐步回归模型。由于建立线性回归预测模型或非线性逐步回归模型,需要对害鼠的生物学、生态学特性有较全面的了解,并积累多年(5年以上)的种群动态消长调查资料;对不同的鼠种需要选择不同的生物、生态学特性及关键环境因子,作为模型参量。因此,回归模型的普适性较差,不适用于板齿鼠种群数量的预测预报。为此,我们希望寻找一种简单方便而又实用的方法。

方法与模型

1. 调查方法

1991年11月至1995年5月,在广东省博罗县石湾镇里波水管理区开展了板齿鼠种群数量动态的调查工作。调查样地面积15 ha,调查生境以稻田为主,同时也调查附近的香蕉、柑桔地、草地和废弃地等生境。布夹方法采用单线及双线平行法,夹间距5 m,线间距不小于30 m。每个月底连续布夹3天,采用夹夜法,每天布夹300个,下午16:00布夹,第二天上午9:00前收回。统计夹获害鼠的种类和数量,对板齿鼠进行常规测量,

^{*} 国家“八五”重点科技攻关项目子专题内容

本文于1995年10月17日收到,1996年5月14日收到修改稿

并解剖检查性腺发育、记录孕仔数等。板齿鼠种群数量调查数据见表 1~4。

2. 数学模型

根据板齿鼠的发生特点,通过比较,我们选择时间序列模型作为预测方法。时间序列模型方法,是假定预测对象的变化仅与时间有关。根据它的变化特征,以惯性原理推测其未来状态。事实上,预测与外部因素有着密切而复杂的联系。时间序列中的每一个数据都反映了当时许多因素综合作用的结果。整个时间序列则反映了外部因素综合作用下预测对象的变化过程。因此,预测对象仅与时间有关的假设,是对外部因素复杂作用的简化。利用时间序列模型预测板齿鼠种群数量发生则比较好地解决了上述困难。

利用时间序列方法(三次指数平滑法),并结合季节指数法,建立了板齿鼠种群的中长期预测(6个月~1年,甚至更长时间)的时间序列模型。模型结构如下:

$$S_t^{(3)} = \alpha S_t^{(2)} + (1-\alpha) S_{t-1}^{(3)}, S_t^{(2)} = \alpha S_t^{(1)} + (1-\alpha) S_{t-1}^{(2)}$$

这里, $S_t^{(3)}$ —第 t 时刻的三次指数平滑值, $S_t^{(2)}$ —第 t 时刻的二次指数平滑值, $S_t^{(1)}$ —第 t 时刻的一次指数平滑值, $S_{t-1}^{(3)}$ —第 $t-1$ 时刻的三次指数平滑值, α —平滑系数。

$$\text{非线性预测模型为: } Y_{t+T} = a_t + b_t T + c_t T^2 \quad (1)$$

其中, t —目前时刻, T —预测的超前时刻数, Y_{t+T} — $t+T$ 时刻的预测值, 并且有:

$$a_t = 3S_t^{(1)} - 3S_t^{(2)} + S_t^{(3)}$$

$$b_t = \alpha [(6-5\alpha) S_t^{(1)} - 2(5-4\alpha) S_t^{(2)} + (4-3\alpha) S_t^{(3)}] / (2(1-\alpha)^2)$$

$$c_t = \alpha^2 [S_t^{(1)} - 2S_t^{(2)} + S_t^{(3)}] / (2(1-\alpha)^2)$$

$$\text{结合季节指数法, 则预测模型可变为: } Y_t^* = Y_t F_k \quad (2)$$

其中, Y_t^* —最终预测值, Y_t —三次指数平滑预测值, F_k —季节指数, 为第 k 月份的三次指数平滑预测值与历史累积资料第 k 月份实测平均值的比值。

结果与分析

1. 利用时间序列方法预测

根据 1991 年 11 月~1993 年 12 月两年板齿鼠种群消长的田间调查资料分析, 发现板齿鼠种群在一年中有两个主要发生期, 即 1~3 月和 9~11 月, 另外在每年的 6 月还有一个种群密度的小高峰。

为了使预测预报方便应用及指导害鼠的防治, 对板齿鼠种群密度划分数量等级是必要的。数量等级的划分, 主要依据我们制订的珠江三角洲稻作区农田害鼠复合防治指标(何森等, 1995), 并考虑到当地板齿鼠的发生为害情况。这里, 将板齿鼠的发生数量划分为四个等级, 记捕获率为 Y , 则四个等级的划分分别为, I 级 ($0 \leq Y \leq 0.845$), II 级 ($0.846 \leq Y \leq 1.435$), III 级 ($1.436 \leq Y \leq 2.450$), IV 级 ($Y \geq 2.450$)。

通过编制计算程序, 利用上一年 10 和 11 月份两个月板齿鼠捕获率的平均值, 作为预测下一年度上半年或全年板齿鼠种群逐月发生量的模型初值 S_0 , 并且令 $S_0^{(1)} = S_0^{(2)} = S_0^{(3)} = S_0$ 。对 α 值的确定, 目前主要是用试验的方式来确定, 首先给定 α 一个初值 ($0 < \alpha < 1$), 代入模型通过计算, 比较理论值与实测值的误差, 通过计算机反复试验最终优选确定一个 α 值作为模拟参数。这里, 利用模型对 1992~1993 年的调查数据进行回测, 可以确定模型中的 α 值, 通过计算可以求出 $\alpha = 0.02$ 。回测结果见表 1、表 2。

表1 1992年数据回测(博罗县石湾镇)

Table 1 Fitting of the data of 1992 (Shiwan town, Boluo county)

月份 Month	实测值 Observed value	发生等级 Degree of densiy	回测值 Fitting value	回测等级 Fitting degree	拟合准确度 Fitting degree of accuracy
1	2.667	IV	2.686	IV	✓
2	1.125	II	1.063	II	✓
3	0.615	I	0.581	I	✓
4	0.800	I	0.755	I	✓
5	0.267	I	0.252	I	✓
6	0.933	II	0.879	II	✓
7	0.533	I	0.502	I	✓
8	0.400	I	0.377	I	✓
9	0.667	I	0.627	I	✓
10	1.200	II	1.129	II	✓
11	1.733	III	1.628	III	✓
12	1.333	II	1.252	II	✓

回测初值=1.000 Initial value of fitting=1.000

表2 对1993年数据回测(博罗县石湾镇)

Table 2 Fitting of the data of 1993 (Shiwan town, Boluo county)

月份 Month	实测值 Observed value	发生等级 Degree of densiy	回测值 Fitting value	回测等级 Fitting degree	拟合准确度 Fitting degree of accuracy
1	2.000	III	2.179	III	✓
2	2.000	III	1.569	III	✓
3	1.429	II	1.054	II	✓
4	1.000	II	0.869	II	✓
5	0.417	I	0.339	I	✓
6	1.025	II	0.930	II	✓
7	0.800	I	0.657	I	✓
8	1.000	II	0.727	I	✓X
9	1.910	III	1.356	II	✓X
10	1.714	III	1.428	II	✓X
11	2.000	III	1.784	III	✓
12	0.857	II	0.971	II	✓

回测初值=1.466 Initial value of fitting=1.466

进一步,依据1992~1993年两年的调查数据,利用模型(1)和(2)对1994年板齿鼠的发生连续预测了12个月,预测结果见表3。

并利用1992~1994年的调查数据,对1995年板齿鼠的数量发生亦作了连续12个月的预测。预测结果见表4。

2. 预测结果与分析

通常来说,模型回测的准确度越高,则其预测的可信度亦越高。一般情况下,对鼠害发生的预测预报,允许预测或回测有不超过一个等级的误差。这里,我们可以规定,如果预测或回测值与实测值仅相差一个等级,并且,其数值的误差百分率大于或等于70%,则将其预测或回测的准确率记为70%;如果预测或回测值与实测值相差一个等级,但是,其数值的误差百分率低于70%,则可认为其预测或回测是不准确的。

表 3 1994 年预测板齿鼠大田发生与实测值对比 (博罗县石湾镇)

Table 3 Forecasting the population density of 1994
in comparison with observed values (Shiwan town, Boluo county)

月份 Month	预测值 Predicted value	预测等级 Predicted degree	实测值 Observed value	实测等级 Observed degree	预测准确度 Predicted degree of accuracy
1	1.948	■	1.270	Ⅱ	√×
2	1.435	Ⅱ	0.938	Ⅱ	√
3	0.966	Ⅱ	1.429	Ⅱ	√
4	0.789	Ⅰ	0.690	Ⅰ	√
5	0.308	Ⅰ	0.308	Ⅰ	√
6	0.841	Ⅰ	0.569	Ⅰ	√
7	0.596	Ⅰ	0.313	Ⅰ	√
8	0.663	Ⅰ	0.500	Ⅰ	√
9	1.235	Ⅱ	1.250	Ⅱ	√
10	1.289	Ⅱ	2.615*	Ⅳ	×
11	1.603	■	1.333	Ⅱ	√×
12	0.864	Ⅱ	0.853	Ⅱ	√

预测初值=1.875 Initial value of forecasting=1.875

由表 1 可以看出,模型对 1992 年调查数据的回测准确率达到了 100%;由表 2 可知,模型对 1993 年调查数据回测的准确度达到了 92.5%。

1994 年预测板齿鼠种群数量的大田发生,通过与实际调查值的对比(见表 3),可以看出,除了 1 月份预测数值的误差百分率低于 70%,和 10 月份预报错误外,其它 10 个月份均基本上或完全预报正确。10 月份鼠密度高的原因根据观察可能是由于当年十月份暴雨成灾,导致稻田水浸数周,农田鼠类多活动于高地、田埂,缺乏食物,因此,上夹率猛增。1994 年预测的准确率达到了 81.93%。

表 4 1995 年预测板齿鼠大田发生与实测值对比 (广东博罗石湾镇)

Table 4 Forecasting the population density of 1995 in
comparison with observed values (Shiwan town, Boluo county)

月份 Month	预测值 Predicted value	预测等级 Predicted degree	实测值 Observed value	实测等级 Observed degree	预测准确度 Predicted degree of accuracy
1	1.427	Ⅱ	0.910	Ⅱ	√
2	1.044	Ⅱ	0.853	Ⅱ	√
3	0.951	Ⅱ	0.840	Ⅰ	√×
4	0.625	Ⅰ	0.587	Ⅰ	√
5	0.256	Ⅰ	0.333	Ⅰ	√
6	0.580	Ⅰ	—		
7	0.405	Ⅰ	—		
8	0.497	Ⅰ	—		
9	1.024	Ⅱ	—		
10	1.468	■	—		
11	1.230	Ⅱ	—		
12	0.695	Ⅰ	—		

预测初值=1.974 Initial value of forecasting=1.974

1995 年预测板齿鼠种群数量的大田发生,由表 4 可见,前 5 个月的预测值与调查数据基本吻合。对 1994 年 1 月至 1995 年 5 月份共 17 个月的预测结果验证,其准确率累计

为 86.56%。预测准确率高。

讨 论

单纯利用时间序列方法——三次指数平滑法,预测板齿鼠种群数量的大田发生通过计算发现误差较大。因此,本文依据三次指数平滑法,结合季节指数法修正误差,建立的数学模型,对板齿鼠种群数量的预测预报是比较成功的。利用该模型预测 1994~1995 年板齿鼠种群的大田发生,准确率高达 86.56%,易于推广使用。

模型中平滑系数 α 一般是通过历史数据来确定的,如何计算出最优化的 α 值,仍存在技术问题,对其预测值亦将产生直接影响。

指数平滑法对实际的调查数据有平滑作用,但对其实际数据的变动反应较迟缓(李业,1994)。因此,对农田害鼠种群数量的预测预报,还应该考虑建立鼠害的灾变模型,并作为农田害鼠种群数量预测预报的辅助模型。这一工作有待进一步的研究和完善。

参 考 文 献

- 严志堂,李春秋,朱盛侃. 1983. 小家鼠种群年龄研究及其对预测预报的意义. 兽类学报, 3 (1): 53~63.
- 严志堂,钟明明. 1984. 小家鼠 (*Mus musculus*) 种群动态预测及机制的探讨. 兽类学报, 4 (2): 139~146.
- 李典谟,陈晓峰,陈安国,朱盛侃. 1991a. 小家鼠种群动态模拟研究. 动物学集刊, (9): 45~51.
- 李典谟,陈晓峰,陈安国,朱盛侃. 1991b. 小家鼠种群中长期预测——灰色系统模型及随机序列分析. 生物数学学报, 6 (1): 69~73.
- 汪笃栋,叶正襄,龙丘陵. 1991. 用逐步回归法建立鼠类数量预测模型——以江西安义的黑线姬鼠为例. 兽类学报, 11 (3): 238~240.
- 李业. 1994. 预测学. 广州: 华南理工大学出版社.
- 何森,冯志勇,刘光华. 1995. 珠江三角洲稻作区农田害鼠复合防治指标的模型化研究. 中山大学学报论丛(生物学论文集), 3 (1): 63~69.
- 周立. 1985. 用模糊聚类方法分析灰鼠种群数量年间变化与松籽产量的关系并预报灰鼠种群数量. 兽类学报, 5 (1): 41~55.
- 洪朝长,袁高林,郑本栋. 1989. 黄毛鼠的种群动态研究及数量预测的意见. 兽类学报, 9 (2): 81~86.
- 杨跃敏,曾宗永,罗明澍,宋志明,梁俊书. 1994. 大足鼠种群动态的非线性模型及逐步回归分析. 兽类学报, 14 (2): 130~137.
- 姜运良,卢浩泉,李玉春,王玉山,张学栋,徐文生,于之庆. 1994. 山东阳谷县黑线仓鼠种群数量预测预报. 兽类学报, 14 (3): 195~202.

THE MEDIUM AND LONG TERM FORECASTING OF POPULATION OF *BANDICOTA INDICA* WITH TIME SERIES MODELS

HE Miao LIN Jiqu

(Department of Biology, Zhongshan University, Guangzhou, 510275)

WENG Wenying

(Department of Mathematics, Zhongshan University)

Abstract

In this paper, we used the time series method to forecasting population fluctuation of *Bandicota indica*, the main pest rodent in rice fields of Pearl River Delta, Guangdong province. Based on the data surveyed in Liboshui district of Shiwan town, Boluo county, Guangdong province, from November of 1991 to December of 1993; we built a model by using triple exponential smoothing model combined with seasonal adjustment model, the smoothing constant was fixed as $\alpha=0.02$, to forecast the population density month by month of 1994 continuously, the rate of accuracy of forecasting was 81.93%. Based on the data from November of 1991 to December of 1994, we forecasted the population density of 12 months of 1995 continuously, the rate of forecasting accuracy of two years was 86.56%.

Key words *Bandicota indica*; Time series; Forecasting

欢迎订阅 欢迎投稿 《应用与环境生物学报》(季刊)

刊号 $\frac{\text{ISSN } 1006-687X}{\text{CN } 51-1482/Q}$ 邮发代号: 62-15

(刊址: 成都 610041 中国科学院成都生物研究所内)

《应用与环境生物学报》是由国家科委批准, 中国科学院主管, 中国科学院成都生物研究所主办并由科学出版社出版的全国性学术性科技期刊(学报级)。主要报道我国应用生物学、环境生物学及相关科学领域的基础研究、应用基础研究和应用研究的成果, 包括研究论文、研究简报和本刊特约的综述。《应用与环境生物学报》是我国科学研究所、研究所, 各大专院校以及科技情报所、图书馆必备的科技刊物, 是我国科学工作者、大专院校师生以及有关科技工作者进行科学交流的良好园地。《应用与环境生物学报》为季刊, 每期 96 页, 每期定价 11.00 元。全国各地邮局(所)均可订阅。