高原鼢鼠种群动态的灰色模拟模型*

张堰铭

（中国科学院西北高原生物研究所，西宁，810001）

摘　要

本文应用灰色系统理论，利用 1984～1989 年 10 月份高原鼢鼠种群资料，建立年间数量动态的 GM（1，1）模拟模型；利用 1985～1989 年 5 月份和 10 月份资料建立年内种群动态的 GM（1，2）模拟模型。此两模型对高原鼢鼠种群动态的模拟均获得较满意的结果。

关键词：灰色系统；高原鼢鼠；种群动态；模拟模型

动物资源利用及危害控制的基础是预测预报，动物种群数量的变动是种群内部及其环境诸多因素共同作用的结果，是一极其复杂的过程（Wolff，1997）。因此，建立客观描述种群变动规律的模拟模型，准确预测动物种群动态的工作显得尤为重要和艰巨。长期以来，人们常采用回归建模，它需要积累大量的原始资料，且原始数据呈一典型分布，通过筛选，从中找出“最优”回归模型。由于资料调查经历的时间长，其间发生的各种事件繁多，系统误差大，造成模型的精度较低，失去其利用的价值。另外，传统的其他建模方法，只能建立离散的递推模型，不便对系统作全面的分析，更不能作长期预测。利用灰色系统（grey system）理论建立模拟模型，正好能克服上述缺点，它能用少量的原始数据反映较多的信息状态，模型建造过程中只需输入与输出量，因此，在实际应用中带来了许多方便。

灰色系统理论，已广泛应用于野生动物保护和虫、鼠害控制研究领域（屠泉洪等，1990；杨奇森，1993），笔者试图在高原鼢鼠资源利用与危害控制这一特殊领域作一探索。

材料及方法

1. 数据来源

本项工作在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站地区进行。有关该地区的植被、气候条件已有报道（杨福囤，1982）。调查期间每年 5 月和 10 月，在矮嵩草（*Kobresia humilis*）草甸设置的 18 块 0.25 公顷固定样方，分别统计其内土丘数；同时另设 4 块 0.25

---

* 青海省科委及中科院西北高原生物研究所所长基金资助。
本文于 1997 年 7 月 2 日收到。

公顷的样方，在计数其内的土丘数后，用捕尽法调查样地的鼠数，在土丘数与鼠数呈显著相关的条件下，估计每只鼠占有的土丘数。以每个固定样方内土丘数除以每只鼠占有的土丘数，分别得出各固定样方内高原鼢鼠数量。

2. 建模机制

对于GM (1，1) 模型，设 $\{X^{(0)}(k)\}$，$k=1, 2, \ldots, n$ 为一随机序列，根据灰色系统建模理论，对该随机序列作累加处理（邓聚龙，1987），获得相应的弱化随机性后的累加序列 (accumulative sequence)，即：

$$\{X^{(1)}(k)\}=\left\{X^{(1)}(k)=\sum_{s=1}^{k}X^{(0)}(s)\right\},\qquad k=1,2,\ldots,n$$

GM (1，1) 模型，为单序列的一阶线性微分方程：

$$\frac{dX^{(1)}(k)}{dt}+aX^{(1)}(k)=u,\ X^{(1)}(0)=X^{(0)} \tag{1}$$

其解形式 $X^{(1)}(k+1)=[X^{(1)}(0)-u/a]e^{-ak}+u/a$

设 $\hat{a}$ 为待定参数向量，根据最小二乘法，得

$$\hat{a}=\binom{a}{u}=(B^TB)^{-1}B^TY$$

其中 $Y=(X^{(0)}(2), X^{(0)}(3), \ldots, X^{(0)}(n))^T$

$$B=\begin{bmatrix}-1/2[X^{(1)}(2)+X^{(1)}(1)], & 1\\ -1/2[X^{(1)}(3)+X^{(1)}(2)], & 1\\ \vdots & \vdots\\ \vdots & \vdots\\ -1/2[X^{(1)}(n)+X^{(1)}(n-1)], & 1\end{bmatrix}$$

对于GM (1，2) 模型，设 $\{X_1^{(0)}(k)\}$，$\{X_2^{(0)}(k)\}$，$k=1, 2, \ldots, n$ 为两个随机序列，每一序列分别进行累加处理后，得

$$\{X_1^{(1)}(k)\},\{X_2^{(1)}(k)\},\ k=1,2,\ldots,n$$

GM (1，2) 模型的一阶线性微分方程为：

$$\frac{dX_1^{(1)}(k)}{dt}+aX_1^{(1)}(k)=bX_2^{(1)}(k)$$

其解形式

$$X_1^{(1)}(k+1)=[X_1^{(1)}(0)-b/aX_2^{(1)}(k+1)]e^{-ak}+b/aX_2^{(1)}(k+1)$$

参数向量 $\hat{a}=\binom{a}{b}=(B^TB)^{-1}B^TY$

其中

$$B=\begin{bmatrix}-1/2[X_1^{(1)}(2)+X_1^{(1)}(1)], & X_2^{(1)}(2)\\ -1/2[X_1^{(1)}(3)+X_1^{(1)}(2)], & X_2^{(1)}(3)\\ \vdots & \vdots\\ \vdots & \vdots\\ -1/2[X_1^{(1)}(n)+X_1^{(1)}(n-1)], & X_2^{(1)}(n)\end{bmatrix}$$

$$Y = (X_1^{(0)}(2), X_1^{(0)}(3), \ldots X_1^{(0)}(n))^T$$

结　果

1. 用10月份高原鼢鼠种群数量建立年间动态及模拟的GM（1，1）模型

每年的10月，高原鼢鼠成体便结束当年繁殖、育幼等行为活动，当年出生的幼体已发育到亚成体。此时期亚成体与亲代成体分居，单独营巢，储存食物准备越冬。高原鼢鼠种群数量相对稳定，10月是年内种群数量的高峰期，也是收购高原鼢鼠骨骼与控制其危害的重要时间。本文选取1984年10月～1989年10月年间的种群动态资料建立GM（1，1）模型，经计算机运算，获得年间种群动态及模拟的模型：

$$\hat{X}^{(1)}(k+1) = 152.5009e^{0.0762k} + \delta_{ki}(-1.7005e^{-0.0282k}) - 137.9809$$

其中误差修正　　$\delta_{ki} = \begin{cases} 1, & k_i \geqslant 3 \\ 0, & k_i < 3 \end{cases}$

高原鼢鼠种群数量的原始数据以及GM（1，1）模型模拟结果列于表1进行分析。经对表1数据的计算，原始数据的均方 $S_1 = 1.8604$，残差均方 $S_2 = 0.3716$，模型精确度指标 $C = S_2/S_1 = 0.1998 < 0.35$，$P = 1$，模拟值的平均误差为 -7.3493%（-15.5497%～8.4259%）。说明用GM（1，1）模型获得的模拟结果能准确地与原始数据拟合，较好地反映高原鼢鼠年间种群数量波动特点，适用于高原鼢鼠种群年间动态的测报。

表1　高原鼢鼠种群数量实测值与GM（1，1）模型模拟值的比较

Table 1　Comparison of the population densities of plateau zokor between the values of measurement and simulation using GM（1，1）model from 1984 to 1989

年份 Year	实测值 The value of measurement in October (ind. /ha)	模拟值 The value of simulation in October (ind. /ha)	误差百分比 Error（%）
1984	14.520	14.520	
1985	12.830	12.106	5.6430
1986	14.230	13.031	8.4259
1987	11.370	12.500	15.5145
1988	13.570	15.202	−12.0265
1989	17.460	16.427	5.9164

2. 用5月份高原鼢鼠种群数量预测本年度10月份数量的GM（1，2）模型

高原鼢鼠一年仅繁殖1次，5月份参加繁殖鼠的基数，决定了年内种群数量变动趋势。准确模拟高原鼢鼠种群年内的变动，可描述其危害草地的动态过程，能为制定其收购骨骼计划以及控制危害等提供充分的信息服务。本文用1985年5月～1989年10月高原鼢鼠动态资料，建立了年内动态及模拟的GM（1，2）模型：

$$X_1^{(1)}(k+1) = (12.83 - 1.4293X_2^{(1)}(k+1))\,e^{-2.321k} + 1.4293X_2^{(1)}(k+1) + 7.2807(e^{0.4521k}-1) - \delta_{ki}(14.5614(e^{0.4521(k-1)}-1)) + \delta_{kj}(7.2807(e^{0.4251(k-2)}-1))$$

其中误差修正 $\delta_{ki}=\begin{cases}1, & k_i>1\\ 0, & k_i\leqslant 1\end{cases}$； $\delta_{kj}=\begin{cases}1, & k_j>2\\ 0, & k_j\leqslant 2\end{cases}$

1985年5月～1989年10月高原鼢鼠种群动态资料与GM (1, 2)模型的模拟结果列于表2进行分析。

表2中，原始数据均方 $S_1-2.0217$，残差均方 $S_2-0.2198$，模型模拟的精确度指标 $C=0.1087<0.35$，$P=1$，模拟值的平均误差为-0.3181% ($-1.1512\%\sim0.2800\%$)。使用GM (1, 2)模型对高原鼢鼠种群年内动态的模拟获得同样满意的结果。

表2 高原鼢鼠种群数量实测值与GM (1, 2)模型模拟值的比较

Table 2 Comparison of the population densities of plateau zokor between the values of measurement and simulation using GM (1, 2) model from 1985 to 1989

年份 Year	10月份实测值 The value of measurement in October (ind. /hm²)	5月份实测值 The value of measurement in May (ind. /hm²)	10月份模拟值 The value of simuation in October (ind. /hm²)	误差百分比 Error (%)
1985	12.830	8.120	12.830	
1986	14.230	8.650	14.212	0.1265
1987	11.370	8.670	11.466	−0.5277
1988	13.570	8.350	13.532	0.2800
1989	17.460	10.910	17.724	1.1512

讨 论

应用灰色系统建立的高原鼢鼠种群动态及模拟GM (1, 1) 和GM (1, 2) 模型，对种群动态的模拟取得了良好效果。上述两模型着眼于数量，要求相对少量的原始资料积累，在生产实践中具有广泛的应用前景。

1984年10月～1989年10月，本项研究的调查区内没有进行针对高原鼢鼠危害的灭鼠活动和人工大量捕杀收购其骨骼的商业活动，模型反映了高原鼢鼠种群自然状况的动态。有关使用药物灭杀或人工捕杀后高原鼢鼠种群动态，尚需实地调查后，修改模型相应的参数向量，方能获得准确的模拟结果。

本项研究的调查样地的植被全部为高寒草甸，因此，模型可广泛应用于高寒草甸植被地区的高原鼢鼠种群动态研究。栽培植被、草原等地区，可根据本文介绍的建模原理，收集有关高原鼢鼠种群动态资料，建立相应的种群动态灰色模拟模型。

参 考 文 献

邓聚龙，1985，灰色控制系统，华中理工大学出版社，293～343.

杨奇森，1993，灰色系统及其在动物资源管理中的应用——甘孜州麝香资源动态及评价，兽类学报，13 (1)：71～74.

杨福囤，1982，高寒草甸生态系统第1集，甘肃人民出版社，1～8.

屠泉洪、夏乃斌、邵海荣，1990，油松毛虫发生的灰色预测模型，生态学报，10 (3)：261～265.

Wolff，D. J.，1997，Population regulation in mammals：an evolutionary perspective. J. Animal Ecology，66 (1)：1～13.

GREY MODEL FOR SIMULATING THE POPULATION DYNAMICS OF PLATEAU ZOKOR IN ALPINE MEADOW

Zhang Yanming

(*Northwest Plateau institute of Biology*，*The Chinese Academy of Sciences*，*Xining*，810001)

Abstract

The theory of grey system is applied to set up two grey equations of the population of plateau zokor in alpine meadow at Haibei research station areas，using the GM (1，1) model and population dynamics information of plateau zokor from October，1984 to October，1989. The simulation model was created as following.

$$X^{(1)}(k+1)=152.5009e^{0.0762k}+\delta_{ki}(-1.7005e^{-0.0282k})-137.9809$$

$$\delta_{ki}=\begin{cases}1, & k_i\geqslant 3\\ 0, & k_i<3\end{cases}$$

The results of simulation showed that the population densities were projected very closly.

Meanwile，we have set up GM (1，2) model that using the population density in May to project the density in October in this year. The grey equation is：

$$X_1^{(1)}(k+1)=(12.83-1.4293X_2^{(1)}(k+1))e^{-2.321k}+1.4293X_2^{(1)}(k+1)+7.2807(e^{0.4521k}-1)-\delta_{ki}(14.5614(e^{0.4521(k-1)}-1))+\delta_{kj}(7.2807(e^{0.4251(k-2)}-1))$$

$$\delta_{ki}=\begin{cases}1, & k_i>1\\ 0, & k_i\leqslant 1\end{cases};\quad \delta_{kj}=\begin{cases}1, & k_j>2\\ 0, & k_j\leqslant 2\end{cases}$$

The model of GM (1，2) has been tested to have a simulating accuracy of higher than 98%.

Key words：Grey system；Plateau zokor；Population dynamics；Simulation model