第 13 卷第 3 期
2006 年 6 月
水土保持研究
Research of Soil and Water Conservation
Vol. 13 No. 3
Jun., 2006

茂名小良水土流失的灰色预测

岑 健, 武思敏, 刘 华
(茂名学院, 广东 茂名 525000)

摘 要: 运用灰色系统理论对水土流失的影响进行了灰色预测, 建立小良水土流失的预测模型, 旨在为小良的水土流失的治理提供科学依据, 促进小良的可持续发展。

关键词: 小良水土保持站; 水土流失; 灰色预测
中图分类号: S157 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2006)03-0159-03

Grey Prediction of Soil and Water Loss in Maoming Xiaoliang

CEN Jian, , WU Si-min, LIU Hua
(Maoming College, Maoming, Guangdong 525000, China)

Abstract: Grey system theory was applied to predict the influence of soil and water loss, prediction model was built to provide scientific evidence for the control of soil and water loss, it will promote the sustainable development of Xiaoliang.

Key words: Xiaoliang soil and water conservation station; soil and water loss; grey prediction

灰色系统理论(Grey Theory)由邓聚龙教授 20 世纪 80 年代初提出后在社会、经济、生态环境等诸多领域中得到了广泛应用。茂名小良水保站位于热带北缘季风气候区, 其生态系统是在完全受损的状态下开始生态修复的, 现在水土流失基本得以控制, 也能取得一定的经济效益。但是在如此脆弱的人工生态系统中开发利用土地资源, 必定会带来开发性的水土流失。所以, 本文在认真研究小良水土流失现状的基础上, 运用灰色理论对小良水土流失的侵蚀模数进行预测, 为进一步合理规划、正确开发、充分利用小良的有限资源, 控制水土流失量在允许范围内, 促进生态经济的可持续发展有重要的现实指导意义。

1 小良水土流失系统是一个灰色系统

为什么说小良水土流失系统是一个灰色系统? 理由之一: 小良从 1957 年建站后, 对水土流失量的测定只有 7 年的时间, 也就是有 1983~1989 年的数据。所以, 在水土流失系统中, 一部分信息是已知的, 一部分信息是未知的, 这样的半明半暗的系统, 我们认为它是灰色系统。理由之二: 影响小良水土流失系统的主要自然因子有地形地势、岩土性质、森林植被、气候水文四大因子, 它们之间相互联系, 相互影响和制约, 但不是确定的关系, 即: 既相关又不确定, 例如: 在植被覆盖很好的情况下, 地势坡度对水土流失的影响不显著, 而在植被覆盖很差或无植被的情况下, 地势坡度对水土流失的影响非常明显。其他自然因子之间也是如此, 相关但不确定, 随其它自然因子的变化而变化。基于上述二点理由, 我们认为小良水土流失系统是一个灰色系统[1]。

2 小良水土流失侵蚀模数的灰色预测

小良水土流失侵蚀模数的灰色预测是通过对原始数据的生成处理来寻找系统变动的规律, 生成数据序列有较强的规律性, 可以用来建立相应的微分方程模型, 从而预测水土流失的发展趋势和未来状况。

灰色预测是用灰色模型 GM(1.1)来进行定量分析的, 我们在这里运用的是灰色时间序列预测的方法。用等时距观测到的反映预测对象特征的一系列数据量构成灰色预测模型, 预测未来某一时刻的特征量, 或者达到某一特征量的时间[2]。

随机变量在灰色系统里被称为灰色量, 灰色系统对灰色量是通过累加生成法来进行数据处理, 寻找数据表现的规律。

表 1 小良年均侵蚀模数表[3]

年份	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
侵蚀模数 10^3 t/km^2	1.2576	2.2127	4.0197	3.0744	2.6773	1.7070	0.6842

设时间序列:

$$X^0 = \{X^0(1), X^0(2), X^0(3), \cdots, X^0(n)\}$$
$$= \{1.2576, 2.2127, 4.0197, 3.0744, 2.6773, 1.7070, 0.6842\}$$

第一步: 构成累加生成序列 1—*AGO*:

$X^1 = \{1.2576, 3.4703, 7.49, 10.5644, 13.2417, 14.9487, 15.6329\}$

第二步: 构成数据矩阵 B 和数据向量 Y_6:

y 收稿日期: 2005-12-18
基金项目: 茂名市 2004 年科技计划基金项目
作者简介: 岑 健(1967-), 女, 广东恩平人, 硕士, 讲师, 主要研究方向: 大系统建模。

$$B=\begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[X'(1)+X'(2)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[X'(2)+X'(3)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[X'(3)+X'(4)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[X'(4)+X'(5)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[X'(5)+X'(6)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[X'(6)+X'(7)] & 1 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} -2.3640 & 1 \\ -5.4802 & 1 \\ -9.0272 & 1 \\ -11.9031 & 1 \\ -14.0952 & 1 \\ -15.2908 & 1 \end{bmatrix}, Y_6=\begin{bmatrix} X^0(2) \\ X^0(3) \\ X^0(4) \\ X^0(5) \\ X^0(6) \\ X^0(7) \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 2.2127 \\ 4.0197 \\ 3.0744 \\ 2.6773 \\ 1.7070 \\ 0.6842 \end{bmatrix}$$

第三步: 利用 Mathematica 软件计算 B^TB、$(B^TB)^{-1}$ 数据向量 B^TY_6 得:

$$B^TB=\begin{bmatrix} 691.278 & -58.1605 \\ -58.1605 & 6 \end{bmatrix}, (B^TB)^{-1}=\begin{bmatrix} 0.00784286 & 0.0766241 \\ 0.0760241 & 0.9036 \end{bmatrix}$$

$$B^TY_6=\begin{bmatrix} -121.403 \\ 14.3753 \end{bmatrix}, \hat{\alpha}=(B^TB)^{-1}B^TY_6=\begin{bmatrix} 0.1407 \\ 3.7599 \end{bmatrix},$$

即 $a=0.1407$, $u=3.7599$。

第四步, 得出预测模型:

$$dX^1/dt+aX^1=u$$

$$dX^1/dt+0.1407X^1=3.7599$$

$X^0(1)=1.2576$, $u/a=26.7228$, $X^0(1)-u/a=-25.4652$

$$X^1(t+1)=[X^0(1)-u/a]e^{-at}+u/a=-25.4652e^{-0.1407t}+26.7228 \quad\cdots\cdots(1)$$

第五步: 残差检验:

(1) 计算: $i=1$—7

$$X^i(i)=-25.4652e^{-0.1407*(i-1)}+26.7228$$

$X^i(i)=\{1.2576, 4.5999, 7.5035, 10.0261, 12.2157, 14.1213, 15.7753, 17.2121\}$

(2) 累减生成序列 $\hat{X}^0(i)$: $i=1$—7

$X^0(1)=X^1(1)=1.2576$

$\hat{X}^0(i+1)=X^1(i+1)-X^1(i)$

$\hat{X}^0(i)=\{1.2576, 3.3423, 2.9036, 2.5226, 2.1896, 1.9056, 1.654\}$

计算得到原始序列 $X^0(i)=\{1.2576, 2.2127, 4.0197, 3.0744, 2.6773, 1.7070, 0.6842\}$

(3) 计算绝对误差序列和相对误差序列: 绝对误差序列

$\Delta^0(i)=|X^0(i)-\hat{X}^0(i)|=\{0, 1.1296, 1.1161, 0.5518, 0.4877, 0.1986, 0.9698\}$

相对误差序列 $\varphi(i)=\frac{\Delta^0(i)}{X^0(i)}=\{0, 0.5105, 0.2777, 0.1795, 0.1822, 0.1163, 1.4174\}$

相对误差最大达到 141.74%, 模型精确度不够, 需要进行改进。

第六步: $GM(1,1)$残差模型

(1)、建立残差生成序列:

$e^0=\{1.1296, 1.1161, 0.5518, 0.4877, 0.1986, 0.9698\}$

$e^1=\{1.1296, 2.2457, 2.7975, 3.2852, 3.4838, 4.4536\}$

$$B=\begin{bmatrix} -1.68765 & 1 \\ -2.5216 & 1 \\ -3.04135 & 1 \\ -3.3845 & 1 \\ -3.9687 & 1 \end{bmatrix}, Y_5=\begin{bmatrix} 1.1161 \\ 0.5518 \\ 0.4877 \\ 0.1986 \\ 0.9698 \end{bmatrix}$$

利用 Mathematica 软件计算 B^TB、$(B^TB)^{-1}$ 数据向量 B^TY_6 得:

$$B^TB=\begin{bmatrix} 45.6619 & -14.6038 \\ -14.6038 & 5 \end{bmatrix}, (B^TB)^{-1}=\begin{bmatrix} 0.332484 & 0.971106 \\ 0.971106 & 3.03637 \end{bmatrix}$$

$$B^TY_6=\begin{bmatrix} -9.27422 \\ 3.321 \end{bmatrix}, \hat{\beta}=(B^TB)^{-1}B^TY_6=\begin{bmatrix} 0.1415 \\ 1.0775 \end{bmatrix},$$

即 $a=0.1415$, $u=1.0775$

$$\hat{e}(t+1)=[e^0(1)-\frac{u_e}{a_e}]e^{-at}=\frac{u_e}{a_e}=[1.1296-7.6184]e^{-0.1415t}+7.6148$$

$$=-6.4852e^{-0.1415t}+7.6148$$

对上式求导 $\hat{e}(t+1)=0.9177e^{-0.1415t}$

由此可得 GM 残差修正模型:

$$X^1(t+1)=-25.4652e^{-0.1407t}+26.7228+\delta(t-2)\times 0.9177e^{-0.1415t} \quad (2)$$

$$其中\ \delta(t-2)=\begin{cases} 1 & t\geqslant 2 \\ 0 & t<2 \end{cases}$$

表 2 修正后残差计算表

t	$X^0(t)$	$X^1(t)$	$\hat{X}(t)$	修正后的误差	相对误差
0	1.2576	1.2576	1.2576	0	0
1	2.2127	3.4703	4.5999	1.1296	24.56%
2	4.0197	7.4900	8.1951	0.7051	9.41%
3	3.0744	10.5644	10.6263	0.0619	0.57%
4	2.6773	12.2417	12.7386	0.4969	4.06%
5	1.7070	14.9687	14.5736	0.3951	2.64%
6	0.6842	15.6329	16.1679	0.535	3.42%

修正后的精确度明显提高。

第七步, 进行关联度检验:

(1) 累减生成序列 $\hat{X}^1(t)$: $t=1$—7

$$\hat{X}(1)=X^2(1)=1.2576$$

$$\hat{X}^1(t+1)=X^2(t+1)-X^2(t)$$

$\hat{X}^1(t)=\{1.2576, 3.4323, 3.5952, 2.4312, 2.1123, 1.835, 1.5943\}$

(2) 计算 $\hat{X}(t)$ 与 $X^0(t)$ 的绝对差

$\Delta^1(t)=|\hat{X}^1(t)-X^0(t)|=\{0, 0, 0.6916, 0.0914, 0.0773, 0.0706, 0.0597\}$

$$\min\{\Delta^1(t)\}=0, \max\{\Delta^1(t)\}=0.6916$$

(3) 计算关联系数:

$$\eta(t)=\frac{\min\{\Delta^1(t)\}+P\max\{\Delta^1(t)\}}{\Delta^1(t)+P\max\{\Delta^1(t)\}}, (t=1,2,\cdots,7; P=0.5)$$

$\eta(t)=\{1, 1, 0.3333, 0.7913, 0.8177, 0.8308, 0.8531\}$

(4) 计算关联度:

$$r=\frac{1}{7}\sum_{i=1}^{7}\eta(t)=\frac{1}{7}(1+1+0.3333+0.7913+0.8177+0.8308+0.8531)=0.8038$$

$r=0.8038$ 是满足 $P=0.5$ 时的检验准则 $r>0.6$ 的。

第八步, 后验方差检验:

(1) 计算

$$\bar{X}^0(t)=\frac{1}{7}(1.2576+3.4323+2.9036+2.5226+2.1896+1.9056+1.654)=2.2665$$

(2) 计算 $\hat{X}(t)$ 均方差:

$$S_1=\frac{\sum_{i=1}^{7}[\hat{X}^0(t)-\bar{X}^0]^2}{7-1}$$

$$=\frac{(1.2576-2.2665)^2+(3.3423-2.2665)^2+\cdots+(1.654-2.2665)^2}{6}=0.48$$

(3) 计算残差均值:

$$\bar{\Delta}^0=\frac{1}{7}\sum_{t=1}^{7}\Delta^1(t)=\frac{1}{7}(0+0+0.6916+0.0914+0.0773-0.0706+0.0597)=0.1415$$

(4) 计算残差的均方差:

$$S_2=\frac{\sum_{t=1}^{7}[\Delta^1(t)-\bar{\Delta}]^2}{7-1}$$

$$=\frac{(0-0.1415)^2+(0-0.1415)^2+\cdots+(0.0597-0.1415)^2}{6}=0.0602$$

(5) 计算 C:

$$C=\frac{S_2}{S_1}=\frac{0.0602}{0.48}=0.1254<0.35$$

(6) 计算小误差概率:

$$S_0=0.6745\times 0.48=0.3238$$

$\varepsilon(t)=|\Delta^1(t)-\bar{\Delta}|=\{0.1415, 0.1415, 0.5501, 0.0501, 0.642, 0.0709, 0.0818\}$

小误差概率 $p = P\{\varepsilon(t) < S_0\} = \frac{6}{7} = 0.8571$

表 3　模型评价标准[3]

P[3]	C	模型评价
> 0.95	< 0.35	好
> 0.8	< 0.5	合格
> 0.7	< 0.65	勉强合格
≤0.7	≥0.65	不合格

根据 P、C 的规定, 我们的预测 $C = 0.1254 < 0.35$, $P = 0.8571 > 0.8$, 故模型 $X^2(t+1) = -25.4652e^{-0.1407t} + 26.7228 + \delta(t-2) \times 0.9177e^{-0.1415t}$ 有较好的预测精度。

第九步, 模型经检验合格后可用于预测, 预测公式为:

$$X^0(t+1) = X^2(t+1) - X^2(t) \tag{3}$$

3　利用模型 $GM(1.1)$[1] 预测水土流失的侵蚀模数

用预测公式(3) 预测 1995、2000、2005、2010 年即序号为 13、18、23、28 的侵蚀模数(10^3 t/km^2):

$t = 12$

$X^2(13) = -25.4652e^{-0.1407\times13} + 26.7228 + \delta(12-2) \times 0.9177e^{-0.1415\times12} = 22.1844$

$t = 11$

$X^2(12) = -25.4652e^{-0.1407\times11} + 26.7228 + \delta(11-2) \times 0.9177e^{-0.1415\times11}$

$= 21.4989$

1995 年预测侵蚀模数: $X^0(13) = X^2(13) - X^2(12) = 22.1844 - 21.4989 = 0.6855$;

$t = 17$

$X^2(18) = -25.4652e^{-0.1407\times13} + 26.7228 + \delta(17-2) \times 0.9177e^{-0.1415\times12}$

$= 224.4767$

$t = 16$

$X^2(17) = -25.4652e^{-0.1407\times16} + 26.7228 + \delta(16-2) \times 0.9177e^{-0.1415\times16}$

$= 24.1374$

2000 年预测侵蚀模数: $X^0(18) = X^2(18) - X^2(17) = 24.4767 - 24.1374 - 0.3393$;

$t = 22$

$X^2(23) = -25.4652e^{-0.1407\times22} + 26.7228 + \delta(22-2) \times 0.9177e^{-0.1415\times22} = 25.6111$

$t = 21$

$X^2(22) = -25.4652e^{-0.1407\times21} + 26.7228 + \delta(21-2) \times 0.9177e^{-0.1415\times21} = 25.4432$

2005 年预测侵蚀模数: $X^0(23) = X^2(23) - X^2(22) = 25.6111 - 25.4432 = 0.1679$;

$t = 27$

$X^2(28) = -25.4652e^{-0.1407\times27} + 26.7228 + \delta(27-2) \times 0.9177e^{-0.1415\times27} = 26.1726$

$t = 26$

$X^2(27) = -25.4652e^{-0.1407\times26} + 26.7228 + \delta(26-2) \times 0.9177e^{-0.1415\times26} = 26.0895$

2010 年预测侵蚀模数:

$$X^0(28) = X^2(28) - X^2(27) = 26.1726 - 26.0895 = 0.0831$$

表 4　侵蚀模数预测表

年份	1995 年	2000 年	2005 年	2010 年
侵蚀模数 10^3 t/km^2	0.6855	0.3393	0.1679	0.0831

利用 Mathematica 软件进行描点, 得:

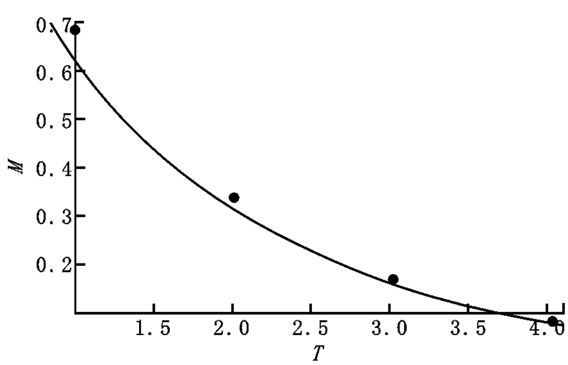

图 1　预测值散点图

从图中可看出, 水土流失逐年减小, 与实际比较吻合。

4　结　论

小良水土流失系统是一个灰色系统, 通过对小良水土流失的侵蚀模数的预测, 掌握小良生态系统的变动规律, 描述水土流失趋势——逐年减少。为小良生态系统的合理开发利用, 促进良性循环发展有重要的指导性作用, 进而可以根据预测的侵蚀模数制定相应的改造、利用措施, 增加植被覆盖度, 改良土质, 从根本上解决小良的生态困境, 促进经济和生态的可持续发展。

参考文献:

[1]　冯中铨. 经济预测与决策[M]. 北京: 中国财政经济出版社, 2001.

[2]　黎锁平. 水土保持综合治理效益的灰色系统评价[J]. 水土保持通报, 1994, 14(5): 15- 18.

[3]　茂名市水利水电勘测设计院. 茂名市小良水土保持科技示范园区 1 期工程可行性研究报告[R]. 2004.

[4]　陈法扬, 王志明, 傅贵增. 小良水土保持试验站综合治理效益分析[J]. 水土保持通报, 1992, 12(1): 53.

(上接第 158 页)

(3) 修建户用沼气池, 充分利用了羊粪和老玉米秸, 既减少了薪柴和煤炭的使用, 保护了植被, 改善了农村生活环境, 又保障了农户生活用能问题, 带动了无公害养殖业和优质高效种植业的发展。

(4) 如果能够配合旅游基础设施建设, 如道路建设、牧羊和垂钓设施建设, 以及其它旅游服务设施建设, 则可以开发观光型、科考型和康乐型等特色农业生态旅游项目, 从而创造更佳的社会效益和经济效益。

参考文献:

[1]　何华勤, 等. 福建省典型生态农业模式研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, (2): 164- 166.

[2]　金卫根. 江西丘陵山区无公害立体种养模式与技术初探[J]. 江西农业科技, 2003, (7): 24- 25.

[3]　陈梦林, 等. 生态养殖产业链发展模式探讨[J]. 中国农业科技导报, 2004, (1): 49- 53.