

元谋干热河谷区降水异常灰色灾变预测

张建平

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所 成都 610041)

提 要 元谋干热河谷区气候炎热干燥、植被稀疏、生态环境脆弱。本文利用灰色系统灾变理论预测该区降水异常值的出现年份,对农、林业生产及植被恢复具有参考和指导意义。

关键词 干热河谷 灰色系统 降水异常 预测

1 元谋干热河谷区概况

元谋县位于云南省中北部的金沙江一级支流——龙川江河谷地区。介于 $101^{\circ}35'$ — $102^{\circ}06'E$, $25^{\circ}23'$ — $26^{\circ}06'N$ 之间,全县国土面积 202 146.7ha,人口 19 万。元谋干热河谷区高差悬殊,生态环境垂直分异明显,从河谷到山顶可分为四个垂直带:海拔 900—1 100m 为低坝区;1 100—1 350m 为坝周低山丘陵区;1 350—1 600m 为中低山区;1 600—2 835m 为中高山区。从气候、植被等环境因素来看,海拔 1 350m 以下为典型的干热河谷区。

元谋海拔 1 350m 以下的干热河谷区,面积 79 706.7ha,占全县幅员面积的 40%。该区耕地集中,耕地面积(统计上报数)11 080ha,占全县耕地面积的 74%。人口约 13 万,占全县人口的 70%,人口密度约 170 人/ km^2 。该区热量丰富、光照充足、降水少,蒸发量大。年均温 20.6°C — 22.8°C ,最热月(5 月)均温 27.1°C ,极端最高温 40°C — 43°C ,最冷月(12 月)均温 13.2°C — 15.4°C ,极端最低温 -2.1°C — 0.1°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $7\,378^{\circ}\text{C}$ — $8\,418^{\circ}\text{C}$,无霜期 350—365 天。年日照时数 2 550.4—2 744.2h,日照百分率 60%;全年太阳总辐射量 $6\,251\times 10^6$ — $6\,564\times 10^6\text{J}/\text{m}^2$ 。年降水量 615.1mm,主要集中在 6—10 月(雨季),占年降水量的 80%以上,年均蒸发量为 3 569.2mm,为降水量的 5.8 倍。可见该区干旱缺水之甚。干旱缺水已成为元谋干热河谷区农业发展的最主要的制约因素。

2 灰色灾变模型的建立及预测

2.1 灰色灾变预测的意义

元谋干热河谷区降水少且分布不均匀,蒸发、降水相差悬殊,缺水严重。降水量的年内分配与年际变化,直接关系到农业生产的丰收或减产,同时对林业部门的植树造林工作及环境治理的植被恢复工作有关键的影响。采用灰色系统灾变预测理论对元谋干热河谷区降水异常值出现的年份进行预测,以供农、林部门参考,以便早作准备、避免损失,抓住有利时机进行农、林生产。

本文改回日期:1994-11-23.

2.2 灰色灾变预测的基本原理

干旱的发生与降水异常值出现的机率密切相关,它具有跳跃性,是一个灰色过程. 其预测基本原理如下^[1,2]:

将历年降水量作为原始数据列

$$x^{(0)} = [x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)]. \quad (1)$$

确定一个阈值 ξ , 把 $x^{(0)}$ 中凡小于 ξ 的数作为异常值, 挑出这些异常值组成一个新的数据列, 记为

$$x_{\xi}^{(0)} = [x^{(0)}(i) | \forall x^{(0)}(i) < \xi, \text{ 且 } x^{(0)}(i) \in x^{(0)}]. \quad (2)$$

对于 $x_{\xi}^{(0)}(i) \in x_{\xi}^{(0)}$ 及 $x_i^{(0)} \in x^{(0)}$, 作 $i \in (1', 2', \dots, n')$ 到 $t \in (1, 2, \dots, n)$ 的映射, 即把灾变数据列中各个数据出现的对应时间作为灾变时间序列 p

$$p = [p(1'), p(2'), \dots, p(n')], \quad (3)$$

利用 p 建立 GM(1,1) 模型

$$dp^{(1)}/dt + ap^{(1)} = u^{(1)}, \quad (4)$$

按最小二乘法求解

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N = \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix}, \quad (5)$$

得 GM(1,1) 模型方程

$$\hat{p}^{(1)}(t+1) = [p^{(0)}(1) - u/a]e^{-at} + u/a. \quad (6)$$

进行灾变预测之前, 应先进行模型精度检验.

2.3 旱年灰色灾变模型的建立及预测^[1-3]

元谋干热河谷区多年平均降水量 615.1mm, 降水最多的 1966 年为 906.7mm, 降水量少的 1960 年仅 287.4mm, 相差悬殊. 从元谋干热河谷区的降水与蒸发来看, 当属于非常干旱的地区. 本文所作的降水异常值(干旱)预测, 是指在元谋当地特定气候条件下的降水异常值. 根据元谋的具体情况, 当降水量少于多年平均降水量的 15% 时将属干旱, 将对农、林生产有较大影响, 故取降水异常值 $\xi = 530\text{mm}$, 小于 530mm 则为降水异常年份. 根据元谋历年降水量(表 1)数列建立 GM(1,1) 模型, 利用最小二乘法解得灰参数 \hat{a} 得

$$\hat{a} = -0.151, u = 13.547, u/a = -89.71.$$

所求得的灾变预测模型为

$$\hat{p}^{(1)}(t+1) = 96.71e^{0.151t} - 89.71. \quad (7)$$

精度检验: 预测模型的精度关系到预测结果的可信与否. 本文分别采用残差检验和

表 1 元谋历年降水量

Table 1 The precipitations of Yuanmou (1969—1992)

序号	年份	年降水量 (mm)	序号	年份	年降水量 (mm)
1	1969	600.3	13	1981	581.2
2	1970	835.4	14	1982	643.6
3	1971	539.7	15	1983	766.4
4	1972	575.0	16	1984	525.0
5	1973	743.1	17	1985	778.5
6	1974	740.9	18	1986	721.2
7	1975	506.7	19	1987	581.2
8	1976	604.8	20	1988	471.9
9	1977	547.6	21	1989	477.3
10	1978	613.8	22	1990	690.1
11	1979	596.0	23	1991	642.3
12	1980	687.9	24	1992	519.4

后验差检验(表 2,3)如下. 由表 2 可以看出,平均误差 3.69%,低于 5.00%,精度较高. 原点平均误差仅为 1.71%.

表 2 模型残差检验

Table 2 The results of the error test			
模型还原计算值	实际值	绝对误差	残差(%)
$\hat{p}(2)=15.76$	$p(2)=16$	$q_2=0.24$	$e_2=1.50$
$\hat{p}(3)=18.64$	$p(3)=20$	$q_3=1.36$	$e_3=6.80$
$\hat{p}(4)=20.48$	$p(4)=21$	$q_4=0.52$	$e_4=2.48$
$\hat{p}(5)=24.95$	$p(5)=24$	$q_5=-0.95$	$e_5=-3.96$

表 3 后验差检验标准

Table 3 The standards of the test of remains difference		
预测精度等级	p	c
好	>0.95	<0.35
合格	>0.80	<0.50
勉强	>0.70	<0.65
不合格	≤ 0.70	≥ 0.65

后验差计算如下

$$S_1 = \sqrt{\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 [p(t) - \bar{p}]^2} = 5.8856,$$

$$S_2 = \sqrt{\frac{1}{4} \sum_{i=2}^5 [q(t) - \bar{q}]^2} = 0.4250,$$

$$C = \frac{S_2}{S_1} = \frac{0.4250}{5.8856} = 0.0722,$$

小误差概率为

$$p = p[|q(t)| < 0.6745S_1] = p[|q(t)| < 3.97].$$

由表 2 可知,所有误差 $|q(t)|$ 值均小于 3.97,即 $p=100\%=1$. 由表 3 可知, p,c 值均符合精度等级“好”,故可用此模型预测元谋干热河谷区降水异常值出现的时间.

据灾变模型(7)来预测元谋 1992 年以后降水异常值出现的年份. 由(7)式计算得

$$\hat{p}(6) = 28.98 \approx 29(1997 \text{ 年}).$$

即下次降水异常值将出现在 1997 年(或 1996 年).

灰色灾变模型预测的时间越长,其准确度就越低,它的有效结论最可靠的是建模型后的第一个灾变年份,即只能用于降水异常值的短期预测. 为了解决灾变预测的长期性和连续性,采用等维新息模型,即在增加一个新信息的同时,去掉一个老信息,建立等维新息 GM(1,1)模型(即动态平移等维建模法),用来预测下一个灾变年份. 这样依次类推,即可作出准确的长期连续预测. 现加上 1997 年这个新信息,去掉 1975 年这个老信息,得等维新息时间集 P

$$P = (16, 20, 21, 24, 29),$$

作一次累加生成

$$P^{(1)} = (16, 36, 57, 81, 110),$$

用最小二乘法解得灰参数

$$\hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N = \begin{bmatrix} -0.127 \\ 15.97 \end{bmatrix},$$

所求等维新息灾变预测模型为

$$\hat{p}^{(1)}(t+1) = 141.7e^{0.127t} - 125.7. \tag{8}$$

残差检验,平均误差 3.98%,原点平均误差 0.26%,精度较高,可以用来预测.
经模型式(8)计算结果,下次降水量少于 530mm 的年份将在 2000 年.

2.4 夏旱灾变建模及预测

元谋干热河谷区的降水主要集中在夏、秋两季. 冬、春季为旱季,降水极少. 夏季降水的多少决定着夏粮的丰收或减产. 因此做好夏旱的预测工作,对元谋农业生产有着积极意义. 根据元谋县具体情况,取夏季降水量 230mm 为阈值,即 $\xi=230\text{mm}$,小于 230mm 为夏旱. 其建模及预测方法与年旱预测相同. 由于单独的夏旱可以造成年旱,也可能不造成年旱,所以建模数据(表 4)序列要适当延长.

表 4 元谋夏、秋季雨量

Table 4 The precipitations in summer and autumn at Yuanmou

序 号	年 份	夏雨量(mm)	秋雨量(mm)	序 号	年 份	夏雨量(mm)	秋雨量(mm)
1	1956	282.7	295.6	20	1975	243.5	198.8
2	1957	372.5	270.1	21	1976	197.0	352.1
3	1958	385.6	119.7	22	1977	251.6	251.0
4	1959	227.3	341.8	23	1978	432.0	180.0
5	1960	117.9	128.0	24	1979	235.3	335.9
6	1961	298.4	281.4	25	1980	236.2	459.7
7	1962	281.2	188.1	26	1981	310.6	244.3
8	1963	233.2	359.7	27	1982	334.8	245.0
9	1964	335.0	267.4	28	1983	239.4	408.2
10	1965	292.5	340.9	29	1984	327.7	196.9
11	1966	399.9	502.5	30	1985	50.2	537.3
12	1967	150.1	223.4	31	1986	370.4	303.6
13	1968	资料缺		32	1987	184.8	338.5
14	1969	231.2	346.4	33	1988	222.3	209.8
15	1970	534.2	171.6	34	1989	234.2	207.6
16	1971	216.1	301.6	35	1990	395.2	221.1
17	1972	245.7	208.8	36	1991	246.1	326.2
18	1973	320.5	312.2	37	1992	237.5	215.4
19	1974	400.0	288.4	38	1993		

从表 4 夏季雨量阈值建模得灰色灾变预测模型为(参加建模数据 8 个)

$$\hat{p}^{(1)}(t+1) = 50.7e^{0.191t} - 46.7.$$

经残差检验,误差小于 9%,原点平均误差小于 5%,模型精度较高,订正后预测得

$$\hat{p}(9) = 40.86.$$

即 $1956+40.86=1996.86$ (1996 或 1997 年),下次夏季降水量小于 230mm 的年份将出现在 1996 或 1997 年,出现在 1997 年的可能性偏大.

2.5 秋旱灾变的建模及预测

秋旱对农业生产及植树造林工作均有严重影响,秋旱影响秋粮的产量;同时也不利于当年栽值树木枝干及根系的生长而造成难以渡过旱季而死亡. 秋旱的预测对农林生产均有利. 取 $\xi=220\text{mm}$,小于 220mm 的为秋季降水量异常年份. 为了保持与夏季干旱预测的一致,建模也选取 8 个数据参与(最近 8 个异常年份),得模型

$$\hat{p}^{(1)}(t+1) = 141.6e^{0.123t} - 126.6.$$

残差检验,平均误差在 7%以下,原点平均误差 4%,精度符合要求.

下次秋季降水量少于 220mm 的年份预测如下,经误差修正后得

$$\hat{p}(9) = 40.91,$$

$$1956 + 40.91 = 1996.91.$$

即下次秋季降水量少于 220mm 的年份将出现在 1996 年或 1997 年,出现在 1997 年的可能性要大些.

3 小 结

通过灰色系统灾变模型的建立和计算,预测结果如下:

1. 元谋干热河谷区的早年(年降水量少于 530mm)将出现在 1996 或 1997 年,根据计算值,出现在 1997 年的可能性要大些.

2. 夏旱(降水量少于 230mm)将出现在 1996 或 1997 年,计算值显示偏向 1997 年.

3. 秋旱(降水量少于 220mm)也将出现在 1996 或 1997 年,偏向 1997 年.

总之,从年旱、夏旱、秋旱预测结果来看,下次降水量少于 530mm 的年份将是 1997 年(夏旱、秋旱重叠,必将为旱年).

从元谋的具体情况而言,雨季开始及结束日期对农、林生产及植被恢复意义很大,但由于资料不足,本文不予预测,以后将专文予以预测.

参 考 文 献

- [1] 张谔文,王学萌,聂宏声编著. 农村经济灰色系统分析——模型、方法、应用. 北京:学术期刊出版社,1989. 71—105.
- [2] 邓聚龙著. 灰色系统基本方法. 武汉:华中理工大学出版社,1987. 145—150.
- [3] 程力. 晋西北山丘区干旱灰色灾变预测. 贵州科学,1992,10(3),33—38.

THE GREY CATASTROPHE FORECASTING OF PRECIPITATION ABNORMALITY OF DRY-HOT VALLEY IN YUANMOU

Zhang Jianping

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences*

& Ministry of Water Conservancy Chengdu 610041)

Abstract

In dry-hot valley of Yuanmou, the climate is hot and dry, the vegetation is sparse as well as the ecological environment is fragile. This paper has used the theory of grey system to forecast the appearance of the year of precipitation abnormality. It has reference and guiding significance to agriculture, forestry and vegetation recovering.

Key words dry-hot valley, grey system, precipitation abnormality, forecasting