

# 应用灰色系统理论分析水土保持效益

樊 兰 英

(山西省农业科学院资源研究所)

根据山西省水文总站1954—1980年的水文实测资料,可明显看出:汾河上游的输沙量七十年代比五十年代和六十年代显著减少,而汾河上游的降水量也相应减少(见表1)。

表1 汾河上游输沙量和降水量比较表

年 份	1954—1960	1961—1970	1971—1980
平均年降水量(毫米)	502.6	489.3	446.1
平均年输沙量(万吨)	2,677.0	2,166.5	1,425.6

那么,减沙的原因,是降雨、径流减少的缘故,还是水土保持治理效益起了主要作用?我们试用华中工学院邓聚龙教授创立的灰色系统理论的关联分析概念和方法作一分析。

## 一、输沙量与降雨、径流的灰色关联分析

灰色关联分析是用来分析各因素之间的动态关系、特征。它是用关联系数、关联度、关联序来表示的。

### (一) 计算方法和步骤

#### 1、关联系数的计算

关联系数是时间的函数。记同一时刻 $t$ ,输沙量的时间序列 $x_i$ 与各因素的时间序列 $x_j$ 的绝对差值为:

$$\left| x_i(t) - x_j(t) \right| = \Delta_{ij}(t) \quad t \in \{ 1, 2, \dots, N \}$$

记各时刻最小绝对差为:

$$\Delta_{\min} = \min_t \left| x_i(t) - x_j(t) \right|$$

各时刻最大绝对差为:

$$\Delta_{\max} = \max_t \left| x_i(t) - x_j(t) \right|$$

则 $x_i$ 与 $x_j$ 在 $t$ 时刻的关联系数为:

$$\xi_{ij}(t) = \frac{\Delta_{\min} + k \cdot \Delta_{\max}}{\Delta_{ij}(t) + K \cdot \Delta_{\max}} \quad t \in \{ 1, 2, \dots, N \}$$

式中：K——系数，取0.1—1

## 2、计算关联度

在横轴t、纵轴ξ的平面内，分别作出输沙量与各因素之间每个时刻的关联系数ξ<sub>ij</sub>(t)，并连成曲线（如图1）。

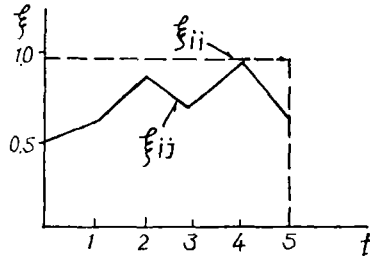


图1 关联系数曲线图

图中的水平线表示输沙量x<sub>i</sub>与x<sub>i</sub>本身的关联系数：ξ<sub>ii</sub>(t) = 1

于是，关联度按下式计算：

$$r_{ij} = \frac{S_{ij}}{S_{ii}}$$

式中：S<sub>ii</sub>——为ξ<sub>ii</sub>与座标围成的面积，

S<sub>ij</sub>——为ξ<sub>ij</sub>与座标围成的面积，

3、将输沙量与各因素的关联度r按大小排队，便有：

$$r_{ij} > r_{ik} > r_{ie} \dots$$

相应的序列 { r<sub>ij</sub> > r<sub>ik</sub> > r<sub>ie</sub> } 称为关联序，用以分析输沙量与各因素之间的主次关系。

## (二) 计算结果与分析

根据汾河上游1954—1980年的水文实测资料，经电子计算机进行数据处理和程序计算，得出：

1、汾河上游年输沙量、年径流量、平均年降水量、平均汛期降雨量等初值化数据序列，并绘成曲线图（如图2）。

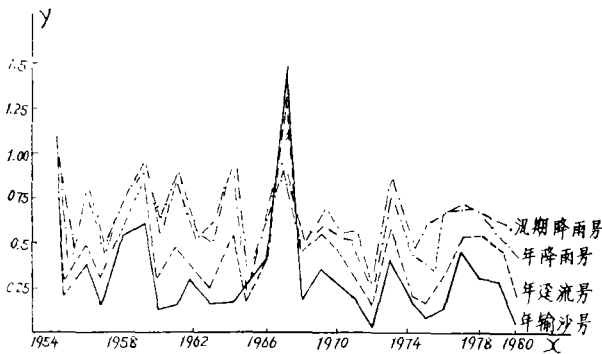


图2 输沙量与各因素初值化数据序列图

2、各时刻最小绝对差：

$$\Delta_{\min} = 0.00$$

3、各时刻最大绝对差:

$$\Delta_{max} = 0.79$$

4、年径流量、年降水量、汛期降雨量分别对年输沙量的关联系数(见表2)。

表2 降雨量、径流量与输沙量的关联系数

年份	年径流量 (万吨)	平均年降水量 (毫米)	平均汛期降水量 (毫米)	年份	年径流量 (万吨)	平均年降水量 (毫米)	平均汛期降雨量 (毫米)
1954	1	1	1	1968	0.27	0.20	0.24
1955	0.4	0.24	0.26	1969	0.31	0.18	0.22
1956	0.4	0.17	0.17	1970	0.35	0.21	0.23
1957	0.32	0.17	0.20	1971	0.44	0.16	0.19
1958	0.86	0.29	0.32	1972	0.42	0.22	0.25
1959	0.23	0.22	0.19	1973	0.34	0.16	0.16
1960	0.29	0.15	0.16	1974	0.61	0.21	0.23
1961	0.20	0.10	0.11	1975	0.51	0.13	0.21
1962	0.53	0.24	0.23	1976	0.36	0.13	0.13
1963	0.45	0.14	0.18	1977	0.40	0.23	0.24
1964	0.17	0.10	0.10	1978	0.23	0.17	0.17
1965	0.29	0.20	0.27	1979	0.34	0.19	0.26
1966	0.73	0.22	0.25	1980	0.33	0.14	0.19
1967	0.36	0.14	0.16				

5、年径流量、年降水量、汛期降雨量与输沙量的关联度(见表3)。

表3 降雨量、径流量与输沙量的关联度

r	年径流量	平均年降水量	平均汛期降雨量
年输沙量	0.41	0.21	0.23

6、关联序:

$$0.41 > 0.23 > 0.21$$

从以上计算结果可看出,径流量与输沙量的关联最密切。实际上,地表径流的形成直接受降雨条件的影响,在一定条件下,取决于降雨的强度。暴雨强度较大,很少能为土壤吸收,绝大部分形成径流,冲刷力很大,往往造成水土大量流失。而暴雨大多出现在汛期,因此可以认为,在气候因素中,汛期降雨是影响输沙量的主要因素。造林种草可以增加地面覆被率,消除或减弱雨滴冲蚀作用和径流侵蚀作用,是解决由降雨引起水土流失的主要途径。

## 二、输沙量与降雨量、水土保持之间的定量分析

### (一) 输沙量与降水量、径流量的相关系数

根据汾河上游的水文实测资料,经电子计算机计算,得出汾河上游年输沙量与年径流量、年降水量、汛期降雨量的相关系数(见表4)。

由表4可见,径流量与输沙量的相关系数最大,汛期降雨量次之,年降水量较差,与上述关联分析结果一致。

表 4

输沙量与径流量、降雨量的相关系数

Rr	年 输 沙 量	年 径 流 量	平均年降水量	平均汛期降雨量
年 输 沙 量	1	0.94	0.67	0.76
年 径 流 量		1	0.79	0.88
平均年降水量			1	0.96
平均汛期降雨量				1

## (二) 对汛期降雨量与输沙量间的回归计算

利用1954—1980年的平均汛期降雨量和年输沙量的实测数据作出相关图(如图3)。

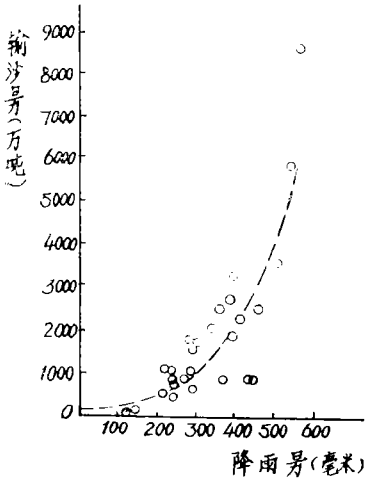


图 3 汛期降雨与输沙量相关图

由图3可以看出,当汛期降雨量较小时,年输沙量增加速度较缓;随着汛期降雨量的增大,年输沙量成倍增大;最后几乎呈直线上升,可见两者呈指数变化规律。所以用指数曲线去拟合,经计算机计算,求得相关系数:  $r = 0.82$

指数曲线拟合方程式:  $\hat{y} = 157e^x$

根据这一关系式,求得1954—1980年的年输沙量的实测值及其与计算值的差值(见表5)。

表5中,实测值与计算值之间的差值,反映了水土保持效益对输沙量的影响:两者差值越大,水土保持治理效益越小;差值越小,则水土保持治理效益越好。经计算分析,五十年代平均年输沙量的实测值比计算值多229.19万吨,六十年代平均多230.66万吨,七十年代仅多44.36万吨。七十年代比五十年代治理效益增长80.6%,比六十年代增长80.8%,

可见输沙量的减少主要是随着水土保持治理面积的增加而增加,其减沙拦沙效益显著提高。

表 5

计算值与实测值对比表

年 份	计 算 值 $\hat{y}$	实 测 值 $y$	$y - \hat{y}$	年 份	计 算 值 $\hat{y}$	实 测 值 $y$	$y - \hat{y}$
1954	5,423.26	6,152	728.74	1968	746.17	1,179	432.83
1955	676.55	1,191	514.45	1969	1,548.89	2,245	696.11
1956	2433.52	2,448	14.48	1970	1,102.04	1,727	624.96
1957	785.51	895	109.46	1971	1,038.5	1,189	150.5
1958	2,089.45	3,443	1,353.55	1972	413.56	224	-189.56
1959	4,633.74	3,847	-786.74	1973	3,300.95	2,700	-600.96
1960	1,092.63	763	-329.63	1974	776.93	1,115	338.07
1961	2,748.8	977	-1,771.8	1975	643.81	950	6.19
1962	1,136.99	1,828	691.01	1976	1,813.91	997	-816.91
1963	961.41	961	-0.41	1977	1,982.29	2,891	908.71
1964	3,118.26	1,005	-2,113.26	1978	2,058.98	2,055	-3.98
1965	358.8	135	-223.8	1979	1,020.23	1,893	872.77
1966	1,684.4	2,661	976.6	1980	763.26	542	-221.26
1967	5,952.14	8,947	2,994.86				