

安塞实验区水土保持经济效益的预测 及其最佳因素

中国科学院西北水土保持研究所茶坊课题组

提 要

影响安塞实验区水土保持经济效益的主要因素是人口数量、副业收入、水土保持状况和农林牧业用地面积等。用灰色模型GM(1, 1)的预测结果说明,实验区的每人平均总产值在1986—2001年将以4.2%的年增长率稳步发展;关联度的分析结果指出,每人平均总产值同生产力、副业收入、林业用地面积、水土保持状况和牧业用地面积成正相关,同农业用地面积成负相关。要使实验区的总产值或每人平均总产值达到最大,必须增加生产力和提高人口素质,大力发展副业,使林业用地面积占可用地面积的百分数不少于30%,农地占可用地面积的25%左右,使农林牧副等生产结构趋于合理化。

一、概 况

安塞县水土保持实验区,地处陕北黄土丘陵区中部的延河中上游,总土地面积为78.4平方公里,包括沿河湾镇的茶坊、方塌、寺岷岷(杏子河流域内)、砖窑沟、方家河、半坡山、崖窑和寨子湾(县南沟流域)等8个行政村,32个自然村,有3,653人,可耕地面积3,323.3公顷多。区内地多人少,山多川少,梁峁起伏,沟壑纵横,水土流失严重。为了改变该区的穷困面貌,中国科学院西北水土保持研究所研究人员从1980年8月到1985年8月对实验区的农业自然资源进行了综合考察,开展了水土保持、农林牧副综合治理科学实验。到目前为止,每人平均年总产值比1980年提高了20%,粮食总产量增加了500多吨,农民的生活水平有了很大改善。为了使实验区的生产得到迅速的发展,探索影响水土保持经济效益的各种因素及其相互关系有十分重要的意义。本文根据该试验区部分资料,对能够全面反映当地经济发展的各个指标作了筛选,选取每人平均年总产值作为预测指标,并且分析了它同农林牧副业生产、人口增长和水土流失状况等因素的相互关系,提出了相应的调整方案。

二、每人年平均总产值的预测和分析

安塞实验区每人年平均总产值,是指该区生产总值与总人口数的比值。

(一) 预测。给定每人平均总产值的时间序列

$$X^{(0)} = \{ X^{(0)}(1), X^{(0)}(2), \dots, X^{(0)}(N) \} \quad (1)$$

用累加生成运算(AGO—Accumulated Generating Operation)方法整理序列(1),以求达到弱化其随机性的目的。对序列(1)作累加生成运算得:

$$X^{(1)} = \{ X^{(1)}(1), X^{(1)}(2), \dots, X^{(1)}(N) \} \quad (2)$$

表1 每人年平均生产总值的时间序列

年 度	1980	1981	1982	1983	1984	1985
序 号	1	2	3	4	5	6
年总产值 (元)	358	382	392	420	436	449.4

表2 模型计算值与实际累加值之比较

t	1	2	3	4	5
$X^{(1)}(t)$	740.1478	1,138.7272	1,554.4447	1,988.0371	2,440.2730
$X^{(1)}(t)$	740.0	1,135.0	1,555.0	1,991.0	2,440.4

$$\{\varepsilon^{(0)}(i)\} = \{-0.148, -3.579, 4.283, 2.408, -2.836\} \quad (16)$$

$$\text{残差均值 } \bar{\varepsilon} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \varepsilon^{(0)}(i) = 0.0256$$

$$\text{残差方差 } S_1 = \sqrt{\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 (\varepsilon^{(0)}(i) - \bar{\varepsilon})^2} = 3.0005$$

$$\text{原始数据均值 } \bar{X} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 X^{(0)}(i) = 416.48$$

$$\text{原始数据方差 } S_2 = \sqrt{\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 (X^{(0)}(i) - \bar{X})^2} = 25.0096$$

$$\text{后验差比值 } C = \frac{S_1}{S_2} = 0.1200$$

$$\text{小误差概率 } p = p\{|\varepsilon^{(0)}(i) - \bar{\varepsilon}| < 0.6745S_2\}$$

$$p\{|\varepsilon^{(0)}(i) - \bar{\varepsilon}| < 16.8690\}$$

因为 $\forall |\varepsilon^{(0)}(i) - \bar{\varepsilon}| < 16.8690, i = 2, 3, 4, 5, 6$, 所以 $p = 1$ 。根据 $C = 0.12$ 和 $p = 1$, 可以确定, 预测精度为一级 (GOOD), 这说明式 (13) 和式 (14) 是可用的。表 3 是安塞实验区的每人平均总产值预测情况。

从表 3 可以看出, 每人年平均总产值在 1985 年以后的 16 年里呈增长的趋势, 年平均增长率为 4.2%; 到本世纪末, 每人年平均总产值可以翻一番。这说明, 实验区的水土保持和农林牧副结构调整的试验是很有成效的。为了使实验区农业经济以更快、更稳的步伐迈进, 研究影响每人平均总产值的因素、找出主要问题是十分必要的。

(二) 影响因素分析。在安塞实验区, 主要进行了有关水土保持和农林牧副结构调整试验, 考察了这些活动及人口增长情况等对当地经济发展的影响。因此, 分析这些影响条件同每人年平均

表 8

安高实验区每人平均总产值预测

年 度	每人年平均总产值(元)	年 度	每人年平均总产值(元)
1986	471.68	1994	660.57
1987	491.96	1995	688.97
1988	513.12	1996	718.59
1989	535.18	1997	749.49
1990	558.19	1998	781.72
1991	582.19	1999	815.33
1992	607.23	2000	850.39
1993	633.33	2001	886.95

总产值的关联程度和性质,便可找出主要因素。

记每人年平均总产值的时间序列为 $X_0'(t)$,影响因素的时间序列记为 $X_i'(t)$,令

$$X_0'(t) = \{ X_0'(80), X_0'(81), X_0'(82), X_0'(83), X_0'(84), X_0'(85) \} \quad (17)$$

$$X_i'(t) = \{ X_i'(80), X_i'(81), X_i'(82), X_i'(83), X_i'(84), X_i'(85) \} \quad (18)$$

式中: 0 —代表每人年平均总产值(元);

t —时间变量。 $t = \{ 80, 81, 82, 83, 84, 85 \}$;

i —影响每人年平均总产值的因素代号。共研究了6个因素, $i = \{ 1, 2, 3, 4, 5, 6 \}$ 。其中,

- 1—水土保持状况。此处用治理水土流失面积的百分数表示;
- 2—人口。指实验区的总人口数;
- 3—农业(种植业)用地面积%;
- 4—林业用地面积%;
- 5—牧业用地面积%;
- 6—副业收入(万元)。

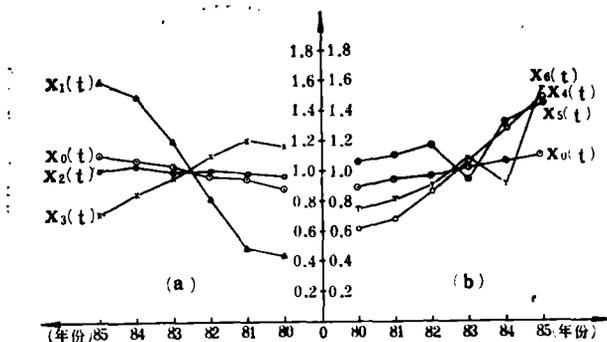
具体数据详见表4。为分析问题方便,对数据作了处理,即把 $X_0'(t)$ 和 $X_i'(t)$ 转换作 $X_0(t)$ 和 $X_i(t)$,图1(a)和图1(b)是 $X_0(t)$ 与 $X_i(t)$ ($t = \{ 1, 2, 3, 4, 5, 6 \}$)的数据序列图。

1、关联度的计算。记 $X_i(t)$ 对 $X_0(t)$ 的关联系数为 $\beta_{0i}(t)$,并记同一时刻 t ($t \in \{ 80, 81, 82, 83, 84, 85 \}$)时 $X_0(t)$ 与 $X_i(t)$ 的绝对差值为 $\Delta_{0i}(t)$,

$$\Delta_{0i}(t) = |X_0(t) - X_i(t)|, \quad (i = 1, 2, 3, 4, 5, 6) \quad (19)$$

记时刻 t 的最小绝对差为 $\min_t |X_0(t) - X_i(t)|$,最大绝对差为 $\max_t |X_0(t) - X_i(t)|$,则因素

$1, 2, 3, 4, 5, 6$ 在时刻 $t \{ t \in (80, 81, 82, 83, 84, 85) \}$ 的最小与最大差值为



a: $X_1(t)$ —水土保持状况, $X_2(t)$ —人口, $X_3(t)$ —林地面积。
 b: $X_4(t)$ —农地面积, $X_5(t)$ —牧地面积, $X_6(t)$ —副业收入。
 图1 每人平均总产值的转化值 $X_0(t)$ 与影响因子的序列图

表 4

每人年平均总产值及影响因素值统计表

代号	年 度 (元)	1980	1981	1982	1983	1984	1985	备 注
0	$X_0'(t)$	358	382	395	420	436	449.4	$X_0(t) = X_0'(t)/406.73$
	$X_0(t)$	0.8802	0.9392	0.9712	1.0326	1.0720	1.1049	
1	$X_1'(t)$	17.2	18.7	32.1	46.6	59	62.4	$X_1(t) = X_1'(t)/39.33$
	$X_1(t)$	0.4373	0.4754	0.8161	1.1848	1.5	1.5864	
2	$X_2'(t)$	3469	3505	3553	3619	3721	3653	$X_2(t) = X_2'(t)/3586.67$
	$X_2(t)$	0.9672	0.9772	0.9906	1.0091	1.0375	1.0185	
8	$X_3'(t)$	49.9	52.2	47.3	41.5	36.5	31.0	$X_3(t) = X_3'(t)/43.07$
	$X_3(t)$	1.1587	1.2121	1.0983	0.9640	0.8475	0.7138	
4	$X_4'(t)$	10.2	11.3	14.2	17.7	21.1	24.6	$X_4(t) = X_4'(t)/16.52$
	$X_4(t)$	0.6176	0.6842	0.8597	1.0717	1.2775	1.4894	
5	$X_5'(t)$	3.9	0.4	4.3	3.4	4.7	5.3	$X_5(t) = X_5'(t)/3.67$
	$X_5(t)$	1.0636	0.1091	1.1727	0.9273	1.2818	1.4455	
6	$X_6'(t)$	1.210	1.279	1.451	1.706	1.421	2.388	$X_6(t) = X_6'(t)/1.576$
	$X_6(t)$	0.7678	0.8115	0.9207	1.082	0.9016	1.515	

$$\Delta_{\min} = \min_i (\min_t |X_0(t) - X_i(t)|) \quad (20)$$

$$\Delta_{\max} = \max_i (\max_t |X_0(t) - X_i(t)|) \quad (21)$$

关联系数定义为

$$\beta_{0i}(t) = \frac{\Delta_{\min} + \xi \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(t) + \xi \Delta_{\max}} \quad (22)$$

经计算知, $\Delta_{\min} = 0.0194$, $\Delta_{\max} = 0.8301$ 。取 $\xi = 0.5$, 则

$$\beta_{0i}(t) = \frac{0.4345}{\Delta_{0i}(t) + 0.4151} \quad (23)$$

由此得各因素的关联系数时间序列:

$$\beta_{01}(t) = \{0.5064, 0.4944, 0.7620, 0.7659, 0.5154, 0.4846\};$$

$$\beta_{02}(t) = \{0.8654, 0.9590, 1.0, 0.9904, 0.9664, 0.8664\};$$

$$\beta_{03}(t) = \{0.6264, 0.6315, 0.8014, 0.8983, 0.6793, 0.5430\};$$

$$\beta_{04}(t) = \{0.6411, 0.6484, 0.8251, 0.9566, 0.7001, 0.5434\};$$

$$\beta_{05}(t) = \{0.7260, 0.3489, 0.7047, 0.8349, 0.6953, 0.5750\};$$

$$\beta_{06}(t) = \{0.8237, 0.8005, 0.9342, 0.9354, 0.7421, 0.5265\};$$

记各因素同每人平均总产值的关联度为 r_{0i} ,

$$r_{0i} = \frac{1}{85-79} \sum_{t=80}^{85} \beta_{0i}(t) \quad (24)$$

由 $\beta_{0i}(t)$ 值计算可得:

$$r_{01} = 0.5881, r_{02} = 0.9413, r_{03} = 0.6967,$$

$$r_{04} = 0.7191, r_{05} = 0.6475, r_{06} = 0.7937.$$

关联度的大小顺序为: $r_{02} > r_{06} > r_{04} > r_{03} > r_{05} > r_{01}$ 。它说明, 安塞实验区的每人年平均总产值同该区人口数量、副业收入、林业、农业和牧业用地面积有密切关系, 水土保持状况对每人年平均总产值也有一定影响。值得注意的是, 关联度还有正负之分, 正关联表示影响因素同每人年平均总产值间有正相关关系, 负关联则表示有负相关关系。

2、关联极性的判断。记

$$\delta_i = \sum_{t=80}^{85} X_i(t)t - \frac{\sum_{t=80}^{85} X_i(t) \sum_{t=80}^{85} t}{85-79}, i \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\} \quad (25)$$

$$\delta_i = \frac{\sum_{t=80}^{85} t^2 - (\sum_{t=80}^{85} t)^2}{85-79} \quad (26)$$

每人年平均总产值 $X_0(t)$ 与因素 $X_i(t)$ 的关联极性按下述准则判断,

若记 $a = \begin{pmatrix} \delta_0 \\ \delta_i \end{pmatrix}$, 则

$\text{sign} a = \text{sign} \begin{pmatrix} \delta_0 \\ \delta_i \end{pmatrix}$, 为正关联

$\text{sign} a = -\text{sign} \begin{pmatrix} \delta_0 \\ \delta_i \end{pmatrix}$, 为负关联

由式 (25) 和式 (26) 计算可得

$$\delta_0 = 0.8, \delta_1 = 4.594, \delta_2 = 0.206, \delta_3 = -1.678$$

$$\delta_4 = 3.184, \delta_5 = 2.591, \delta_6 = 1.9683, \delta_t = 17.5$$

$\text{sign} a = +\text{sign} \begin{pmatrix} \delta_0 \\ \delta_t \end{pmatrix}$, 为正关联;

$\text{sign} a = +\text{sign} \begin{pmatrix} \delta_0 \\ \delta_2 \end{pmatrix}$, 为正关联;

$\text{signa} = -\text{sign} \left(\frac{\delta_3}{\delta_t} \right)$, 为负关联;

$\text{signa} = +\text{sign} \left(\frac{\delta_4}{\delta_t} \right)$, 为正关联;

$\text{signa} = +\text{sign} \left(\frac{\delta_5}{\delta_t} \right)$, 为正关联;

$\text{signa} = +\text{sign} \left(\frac{\delta_6}{\delta_t} \right)$, 为正关联。

判别结果说明, 除农业用地面积以外, 其它 5 个因素同每人平均总产值都呈正相关。

通过综合分析各因素的关联度和关联极性可以看出, 实验区的人口数量、副业收入、林业和农业用地面积的多少, 同每人平均总产值的关联程度最大, 但农业用地面积同每人平均总产值呈负相关, 发展副业和畜牧业、搞好水土保持对实验区的经济发展是有益的。因此, 找到现在的人口数量、农林业用地面积和水土保持程度的最适值, 是获得目前最大每人平均总产值的关键所在。

(三) 影响因素最适值的探讨。设每人年平均总产值为 \hat{x}_0 ,

$$\hat{x}_0 = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2, \quad (27)$$

式中, b_0 、 b_1 、 b_2 是待定系数, x_1 、 x_2 是变量。为把二元线性方程化为抛物线方程, 令

$$x_1 = x, \quad x_2 = x^2$$

则 $\hat{x}_0 = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 \quad (28)$

x 代表人口数量、林业用地面积、农业用地面积或水土保持程度等指标。根据 $X'_1(t)$ 和 $X'_2(t)$ 值可计算出 $\overline{x_1}$, $\overline{x_2}$, $\sum x_1$, $\sum x_2$, $\sum x_1^2$, $\sum x_2^2$, $\sum x_1 x_2$, $\sum x_1 x_0$, $\sum x_2 x_0$, $\sum x_0$, $\sum x_0^2$, $\overline{x_0}$ 。由此求出系数,

$$L_{11} = \sum x_1^2 - \frac{1}{n} (\sum x_1)^2 \quad (29)$$

$$L_{22} = \sum x_2^2 - \frac{1}{n} (\sum x_2)^2 \quad (30)$$

$$L_{12} = \sum x_1 x_2 - \frac{1}{n} (\sum x_1)(\sum x_2) \quad (31)$$

$$L_{1x_0} = \sum x_1 x_0 - \frac{1}{n} (\sum x_1)(\sum x_0) \quad (32)$$

$$L_{2x_0} = \sum x_2 x_0 - \frac{1}{n} (\sum x_2)(\sum x_0) \quad (33)$$

用行列式求出 b_1 、 b_2 值:

$$b_1 = \Delta_1 / \Delta \quad (34)$$

$$b_2 = \Delta_2 / \Delta \quad (35)$$

式中:

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} L_{1x_0} & L_{12} \\ L_{2x_0} & L_{22} \end{vmatrix}, \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} L_{11} & L_{1x_0} \\ L_{21} & L_{2x_0} \end{vmatrix}, \quad \Delta = \begin{vmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{vmatrix}$$

$$b_0 = \overline{x_0} - b_1 \overline{x_1} - b_2 \overline{x_2} \quad (36)$$

解之得二次抛物线方程

$$\hat{x}_0 = b_0 + b_1 x + b_2 x^2$$

根据二次函数求极值的原理，利用式(28)可求出当人口数量、林业用地面积、农业用地面积或水土流失治理程度为多少时，每人平均总产值取得最大值。

对式(28)求导，

$$\widehat{x}_0' = b_1 + 2b_2x$$

$$\text{令 } \widehat{x}_0' = 0, \text{ 则 } x = -\frac{b_1}{2b_2},$$

$$\widehat{x}_0'' = 2b_2, \quad \text{IF } 2b_2 < 0, \text{ THEN}$$

$$\widehat{x}_{0\max} = b_0 + b_1x + b_2x^2$$

$$= b_0 + b_1\left(-\frac{b_1}{2b_2}\right) + b_2\left(-\frac{b_1}{2b_2}\right)^2$$

$$= b_0 - \frac{b_1^2}{4b_2}$$

(37)

由表4的 X'_i ($i \in \{0, 1, 2, 3, 4\}$)值可得计算结果。

1、每人平均总产值同人口数量 x_p 的关系。

$$\widehat{x}_0 = -17642.63 + 9.71x_p - 1.3 \times 10^{-3}x_p^2 \quad (38)$$

当 $x_p = 3723$ 时， $\widehat{x}_{0\max} = 488.74$ 。

2、每人平均总产值同林业用地面积 x_F 的关系。

$$\widehat{x}_0 = 246.04 + 13.90x_F - 0.23x_F^2 \quad (39)$$

当 $x_F = 30.20$ 时， $\widehat{x}_{0\max} = 455.92$ 。

3、每人平均总产值同农业用地面积 x_A 的关系。

$$\widehat{x}_0 = 494.31 + 0.13x_A - 0.049x_A^2 \quad (40)$$

当 $x_A = 1.31$ 时， $\widehat{x}_{0\max} = 494.40$ 。这意味着，当农业用地面积占可用地面积的1.31%，或农地面积为 $1.31\% \times 6661.3 = 87.26$ （公顷）时， \widehat{x}_0 取得最大值。按每年每人平均需粮200公斤计算，粮食每公顷产量应达到8,480多公斤才能满足要求。考虑到自然现状和生产技术等限制条件，这个产量指标至少在目前是难以达到的，因此，计算得出的 x_A 值在理论上是正确的，但实际上是不合理的。根据农业生产的发展情况，我们对农地面积占可用地面积的百分数取做 $x'_A = 25$ ，

则 $\widehat{x}_{0\max} = 467.07$ 。

4、每人平均总产值同水土流失治理程度 x_c 的关系。

$$\widehat{x}_0 = 335.30 + 1.97x_c - 3.18 \times 10^{-3}x_c^2 \quad (41)$$

x_c 的取值范围为 $[0, 100]$ ，水土流失治理程度若能达到85%，即 $x_c = 85$ ，那么， $|\widehat{x}_0| = 479.78$ 。

对上述4个计算结果取灰值得：

$$\otimes = [455.92, 494.40];$$

取4个结果的均值得：

$$\widehat{x}_0 = 479.71.$$

实验区总产值可达到 $479.71 \times 3,723 = 1,785,960.33$ （元）。由此看出，在1980—1986年，如果使人口达到3,723，农业、林业用地面积占可用地面积的百分数分别为25%、30%，治理水土流失面积的百分数为85%，那么，每人平均总产值有可能达到 \widehat{x}_0 ，或灰值 $[455.92, 494.40]$ 。

三、结论与建议

每人平均总产值的预测和分析结果说明,在1986—2001年的16年间,安塞实验区每人平均总产值将以4.2%的年增长率稳步发展,经过调整的农林牧副结构是可行的。要更快地提高经济效益,就必须在今后增加实验区的生产力,提高人口素质,利用各种人力、物力,采取多种途径发展副业;以造林、种草等生物措施为主要手段来治理水土流失,力争使林业用地面积占可用地面积的30%;培肥地力,提高作物栽培技术,把农用地占可用地面积的百分数控制在25%左右。为发展畜牧业创造条件,从而使实现水土保持效益的因素达到最佳化,农林牧副等生产结构趋于合理化,在此基础上安塞实验区水土保持的经济效益、生态效益和社会效益才有可能得到更大的发展。

(本文由卢志伟提供基本数据,经李忠魁计算、论证和编写,卢宗凡最后作了审定)

参考文献

- [1] 邓聚龙:《灰色控制系统》,华中工学院出版社。
- [2] 王学荫,罗建军:《灰系统预测、决策建模程序集》,科学普及出版社。
- [3] 倪焱:“灰色系统理论在水土流失因素分析中的应用”,《水土保持通报》,1986年第2期第80—83页。

PREDICT ECONOMIC RESULTS OF SOIL AND WATER CONSERVATION AND ITS OPTIMUM FACTORS OF ANSAI EXPERIMENT AREA IN NORTHERN SHAANXI PROVINCE

*A Group of Chafang Task
under Northwest Institute of Soil and Water Conservation,
Academia Sinica*

Abstract

The main factors influencing development of agricultural economy in experimental area of soil and water conservation in Ansai county are population, soil and water conservation level, land area of agriculture, forestry, animal husbandry, and income from sideline occupations, etc. The total value of production each will increase steadily at the annual rate of 4.2% during 1986—2001, as GM (1, 1) forecasted, and is directly related to population, income from sideline occupation forest land area, soil and water conservation level, and animal husbandry land area, but negatively related to agricultural land area, as the analysis of the relativity shows. To maximize the total value of production of agricultural economy or the total average value of production each in the experimental areas, the productive forces must be improved, condition of sideline occupation be developed greatly, forest land area must not be less than 30% of whole arable land, the agricultural land area should be about 25% of whole arable land, so as to optimize the production structure of agriculture, forest, animal husbandry, sideline etc.