

241-247

第18卷第3期
1998年5月生态学报
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 18, No. 3
May, 1998

黄土高原小流域治理效益评价与系统评估研究

——以宁夏西吉县黄家二岔为例

李中魁

(中国林业科学研究院世界林业研究所 北京 100091)

76.882
0.000
X24

摘要 根据黄土高原地区小流域及其治理的特点,提出了效益评价指标体系和评价方法,以生产力、均衡性、稳定性和持续性4项参数共8个指标从整体上系统评估了小流域在不同治理阶段的状态。以黄家二岔小流域为例作了说明。

关键词: 小流域,综合治理,效益评价,系统评估,黄土高原

STUDY ON BENEFIT EVALUATION AND SYSTEMATIC
APPRAISAL OF SMALL WATERSHED CONTROL
IN LOESS PLATEAU
——TAKING HUANGJIA ERCHA AS EXAMPLE

Li Zhongkui

(World Forestry Institute, Chinese Academy of Forestry, Beijing, 100091, China)

Abstract According to the characters of small watershed and its management on the loess plateau, the index system and method to evaluate the control benefits were raised. Other 8 indexes of 4 categories including productivity, equilibrium, stability and sustainability were also developed to appreciate the condition of small watershed in each stage systematically and wholly. Huangjia Ercha watershed was taken as example.

Key words: small watershed, watershed management, benefit evaluation, systematic appraisal.

1 小流域及其治理概况

黄家二岔小流域位于黄河中游地区的黄土高原中心地带,宁夏回族自治区南部的西吉县。回民占人口总数的98%,1982年以前,该流域土地利用不合理,农林牧业用地之比是1:0.03:0.61。这无论从生产还是从生态的角度看都是畸形的,由此及其它原因导致的恶果是水土流失面积占总面积的95%,植被覆盖度不足1.85%,年侵蚀模数达7375t/km²。同时,由于当地生产方向单一,资源缺乏,交通不便,农民科技文化意

本文是作者博士论文的部分内容,论文工作是在王礼先教授和孙立达教授二位导师指导下完成的,在此表示衷心感谢。

收稿日期:1996-01-24,修改稿收到日期:1996-11-14。

识淡薄,产品无交换,生产结构不合理等等,农林牧业生产基本无发展,粮食产量平均为 $23\text{kg}/666.7\text{m}^2$ 。流域内群众生活水平极低,年人均纯收入50元,人均口粮 125kg ,人均燃料(包括秸秆、畜粪) 139kg ,国家平均每年拨救济款1260元,救济粮 7000kg 。当时群众的生活可概括为:种地无肥也无水,吃饭无柴也无米,御寒无鞋也无衣,炕上无席也无被^[1]。

从1983年治理以来,黄家二岔小流域农业生产结构从根本上得到调整,土地利用率由治理前的60.9%提高到现有的97.3%,农林牧用地比例调整到1:0.64:1.04。到目前为止,在流域内总共人工造林 123.6hm^2 ,人工种草 198.4hm^2 ,在坡度 $15^\circ\sim 35^\circ$ 的退耕造林地和荒坡造林种草地上修筑反坡梯田和隔坡水平条带 190.3hm^2 ,动用土方约 4.8万 m^3 ;修筑水平梯田 181.7hm^2 ,动用土方 45.5万 m^3 。同时修筑谷坊68座,动用土方 1.5万 m^3 ,沟道打坝三座,上坝土方 15.8万 m^3 。随着各项措施的实施,小流域内不仅自然景观发生了变化,而且为农林牧业的发展创造了条件,人民群众的生活水平得到了重大改善。

为了对治理效益作全面、系统的评价,明确、具体地反映各项措施的效益,并从系统整体生产力、稳定性、持续性、均衡性各业发展等方面客观、定量地反映小流域治理成果,本研究建立了黄家二岔小流域效益评价体系,提出了系统评估概念及计算方法。

2 效益评价与系统评估方法的建立

在黄土高原地区,小流域治理的主要任务是改善生态环境条件,调整产业结构和土地利用结构,通过增加投入、施肥,采用良种和其它科技措施,来获取小流域系统的最大产出或经济效益,经济效益的提高必然伴随着社会子系统内文化、教育、卫生和物质生活水平等指标的改善。因此,小流域治理成效可用生态效益、经济效益和社会效益的变化来反映。考虑到各地自然条件的复杂性和不同小流域效益评价指标体系的差异性,要进行不同小流域间横向比较评价则应该把小流域作为一个整体分析,而不是人为地划分为3个子系统,就应该找出能够代表整个系统中物质交换、能量流动和信息传递的基本特性。这些特性应该是各个小流域都具有的,它们能够反映小流域整体系统经过治理以后在系统生产力、稳定性、生产持续性和资源利用、各业发展等方面的均衡性,从而比较客观地描述小流域整体系统的动态变化。

2.1 效益评价

2.1.1 指标体系的设定:根据黄家二岔小流域及其治理情况,按照科学性、可操作性、独立性和简明性设定了效益评价指标体系,并用AHP法确定了各指标的权重,小流域治理效益评价指标体系如下:

效益评价	经济效益 (0.4243)	粮食单产(0.1515)
		人均纯收入(0.1364)
		劳动生产率(0.1364)
	生态效益 (0.2576)	径流系数(0.0785)
		侵蚀模数(0.0909)
		水土流失面积治理率(0.0909)
	社会效益 (0.3181)	劳动力利用率(0.0909)
		恩格尔系数(0.1212)
		文盲率(0.1060)

各指标定义如下:

(1) 粮食单产 = 粮食总产 / 农地面积, $\text{kg}/666.7\text{m}^2$;

(2) 人均纯收入 = 总收入 / 小流域总人口, 元/人;

据国家统计局方法,总收入包括农业净产值、生产单位的其它物质生产部门(工、商、建、运、服务等)的生产净收入,外出人员带回的收入,亲友馈赠的收入,从国家和集体单位所得的收入,以及救济款等非借贷性收入。

(3) 劳动生产率 = 农业净产值 / (活劳动消耗量 $\times 300$), 元/(劳·日);

劳动生产率指单位活劳动消耗量所创造的农产品价值。上市和未售出的农产品的价格按当地政府所公布的统一价计,已在市场出售的按实际卖出所得的收入计,活劳动系指全年参加劳动的人数,全劳力以

300天出勤计为一个人年,半劳力和零星劳力均须换算成全劳力计。

(4)径流系数=径流深/降雨量,无量纲;

径流系数指全年区内的平均值。

(5)侵蚀模数=年土壤流失量/流域总面积, $t/(km^2 \cdot a)$

(6)水土流失面积治理率=已治理面积/应治理面积,无量纲

其中,已治理面积指施行过水土保持措施的面积,包括成活率在80%以上或郁闭度在40%以上的新造林地、荒地草地、退耕种草地、农田种草地、补播的天然草地和轮封轮牧草地等施行了人为措施的各种草地面积之和(但不包括天然牧草坡),还有基本农田以及筑坝拦截面积等。

(7)劳动力利用率=劳动就业率=实用工日数/现有工日数

其中,实用工日数包括从事农业、林业、牧业、副业和渔业及非农业(如贩运、医疗、劳务和产品加工等)的工日数。对牧业用工,用各种畜禽管理所需工日数折算(工日/头(只)·年);

牛、马、90;绵羊、60;奶牛、180;生猪、55;兔(成龄)、30;禽、50。拥有工日数,每个全劳力为300日/人,半劳力按出劳程度折算为全劳力后计算。

(8)恩格尔系数:食品支出占生活消费支出的比例。随着人口消费水平的提高,这个系数呈下降的趋势。国际上一般认为,恩格尔系数在60%以上为贫困,50%~60%为温饱,40%~50%为小康,30%~40%为富裕,30%以下为最富裕。

(9)文盲率:文盲人口占总人口的比率,文盲指未受过任何正规文化教育,未参加过任何文化科技知识学习或培训的人。

2.1.2 评价方法:

采用模糊综合评判法评价治理效益,并以1982年的指标为参照。

设评价结果为模糊集 $B = \underline{A} \cdot \underline{R}$

式中: $\underline{A}$ ——指标权重集, $\underline{A} = (a_i, i=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9)$, 采用 AHP 法计算,

$\underline{R}$ ——指标隶属函数值;

$\underline{R}_i = (r_{ij}, j=1, 2, 3), i=1, 2, 3。$

根据各指标的取值范围和变化规律,确定其隶属函数模型,详见表1。

表1 各指标隶属函数 r_{ij} 计算模型

Table 1 Model of belonging function for each norm

粮食单产 $g(kg/667m^2)$	人均纯收入 I (元/人·年)	劳动生产率 l (元/劳·日)
$r_{11} = \begin{cases} 0 & g \leq 23 \\ (g-23)/327 & 23 < g < 350 \\ 1 & g \geq 350 \end{cases}$	$r_{12} = \begin{cases} 0 & I \leq 50 \\ (I-50)/950 & 50 < I < 1000 \\ 1 & I \geq 1000 \end{cases}$	$r_{13} = \begin{cases} 0 & l \leq 2.33 \\ (1-2.33)/14.67 & 2.33 < l < 17 \\ 1 & l \geq 17 \end{cases}$
径流系数 h	侵蚀模数 $e(t/km^2 \cdot a)$	水土流失面积治理率 $C(\%)$
$r_{21} = \begin{cases} 1 & h \leq 0.1 \\ (0.7-r)/0.6 & 0.1 < h < 0.7 \\ 0 & h \geq 0.7 \end{cases}$	$r_{22} = \begin{cases} 1 & e \leq 250 \\ (10^4-e)/9750 & 250 < e < 10^4 \\ 0 & e \geq 10^4 \end{cases}$	$r_{23} = \begin{cases} 0 & c \leq 25 \\ (c-15)/80 & 15 < c < 95 \\ 1 & c \geq 95 \end{cases}$
劳动力利用率 $P(\%)$	恩格尔系数 $f(\%)$	文盲率 $b(\%)$
$r_{31} = \begin{cases} 0 & P \leq 50 \\ (P-50)/45 & 50 < P < 95 \\ 1 & P \geq 95 \end{cases}$	$r_{32} = \begin{cases} 1 & f \leq 30 \\ (65-f)/35 & 30 < f < 65 \\ 0 & f \geq 65 \end{cases}$	$r_{33} = \begin{cases} 1 & b \leq 15 \\ (90-b)/75 & 15 < b < 90 \\ 0 & b \geq 90 \end{cases}$

2.2 系统评估

宁南黄土丘陵区干旱、霜冻、冰雹等气象灾害频繁,自然生态条件差,农业生产发展水平低,小流域治

理的生态、经济和社会效益协调困难。本研究提出小流域的4项特性,即:生产力、均衡性、稳定性和持续性,从整体上系统评估小流域在不同治理阶段的状态。

2.2.1 生产力 这里指小流域系统土地生产力和系统产出,以粮食亩产潜力实现率和收入递增率两个指标表示。

1) 粮食亩产潜力实现率 R_p (%):

$$R_p = Y_c / Y_P \times 100\%$$

式中: Y_c ——现有亩产量, kg, 用粮食作物产量的均值; Y_P ——潜在亩产量, kg, 用现实生产潜力计算。

2) 收入递增率 I_n (%)

$$I_n = [(X_n / X_0)^{1/n} - 1] \times 100\%$$

X_n, X_0 ——分别为小流域第 n 年和基础年的净产值, 元; n ——年数。

2.2.2 均衡性: 指小流域系统在物质、能量、信息投入和土地利用的合理化程度, 表现为分担流域总产出的均匀化程度, 用生态经济系统结构势和效益协调系数表示。

1) 生态经济系统结构势 (H)

这是反映生态农业系统结构合理性的一条重要指标, 表示系统在能量流动、物质循环、资金流动和信息传递过程中, 所表现出的生态经济特征, 其公式为:

$$H = 1 / \left[\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2 \right)^{1/2} \right]^{n/2}$$

式中: $R_i = E_i / E_n$, 为第 i 个子系统投入的有效产出率, E_n ——第 i 个子系统有效产出, 元; E_n ——第 i 个子系统的综合投入, 元; $\bar{R}$ —— R_i 的平均值。

H 属于 $[0, 1]$, H 值愈大, 表明小流域生态经济系统结构愈合理, 此项指标的运算主要以农林牧业三个子系统进行, $n=3$ 。

2) 效益协调系数 λ :

$$\lambda = [27X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 / (X_1 + X_2 + X_3)^4]$$

式中: X_i ($i=1, 2, 3$)——分别表示生态效益、经济效益和社会效益的评价值, 无量纲。

2.2.3 稳定性: 小流域系统对外界干扰的抗衡能力和保持系统物质和能量产出具有可靠性和稳定性的能力。稳定性可以用系统抗逆力和稳定性系数来表示, 前者反映生态经济系统抗御自然灾害的能力, 后者反映小流域系统能量产出的波动情况。

1) 系统抗逆力 P_r

$$P_r = P_d / P_N$$

式中: P_d ——灾年小流域产值, P_N ——正常年小流域产值, 元。

系统抗逆力是指生态经济系统抗御自然灾害的能力, 故其产值只计算小流域农林牧副渔业及其有关的产业的产值, 如农产品加工产值, 但不包括劳动、运输和开矿等非农业产业和非物质生产部门的产值或收入。关于灾年产值的计算, 如果实验期内发生两个以上灾年或未发生明显灾年则以最低产值代替, 正常年产值则是试验期5a中未受灾年的平均产值。

2) 系统稳定性 E_r

$$E_r = 1 / \left[\sum_{i=1}^n |Q_i - \bar{Q}| / n \right]^{1/n}$$

式中: Q_i ——第 i 年有用能量产出, kJ/a; $\bar{Q}$ ——研究时段有用能量产出均值, kJ/a; n ——年数。

有用能量产出包括种植业、林业和畜牧业中的绿色植物, 在人工投能辅助下摄取的能为人所利用的太阳能。有用能量产出, 种植业通过各种作物籽粒、秸秆和根的产量计算; 林业通过各种乔、灌木蓄积量和薪炭量计算; 畜牧业只计算牧草产能。

2.2.4 持续性: 小流域系统在相当长的时间内保持一定的生产力的能力, 小流域系统的持续性主要表现为生态经济系统的持续生产能力, 也表现为整个流域有用物质、能量的持续生产, 以持续性系数和系统发

展速率表示。

1) 持续性系数 E_L

$$E_L = (E_n/E_0)^{1/n}$$

式中: E_n, E_0 ——分别为第 n 年和基础年的经济效益系数, 其中:

$$E_n = \sum_{i=1}^n Q_i / \sum_{i=1}^n P_i$$

式中: Q_i ——第 i 年有用能量的产出, kJ/a ; P_i ——第 i 年有用能量投入, kJ/a ; n ——年数。

有用能量投入包括各类植物种子、肥料、农药、人力、畜力、机械、电力等投能。

2) 系统发展速率 E_K

$$E_K = 1 - (Q_0/Q_n)^{1/n}$$

式中: Q_0, Q_n ——分别为基础年和第 n 年的生物产出和经济产出等有用能量的产出量, kJ/a ; n ——年数。

3 结果与分析

黄家二岔小流域从1983年开始进行治理, 向小流域生态子系统、经济子系统和社会子系统投入了包括化肥、农药、种子、树苗、人力、畜力、科学技术等一系列物质、能量和信息, 取得了治理效益, 使小流域系统整体发生了显著变化。根据1983~1993年小流域生态、经济和社会因子的调查数据及历年种植业、林业和畜牧业的作物产量、林木蓄积量、牧草产出量、家畜存栏率及小流域系统能量流分析数据, 我们对典型年份或不同时期的治理效益进行评价, 并作系统评估。效益评价和系统评估结果见表2、表3和表4。

从计算结果可以看出:

1) 黄家二岔小流域经过治理, 生态效益、经济效益和社会效益一直呈增长的趋势, 并在初期阶段增长迅速: 1985年效益评价总值比1982年以前提高了11.20倍, 1990年比1985年提高了39.03%, 1993年比1990年提高了19.1%, 预计到“八五”末期, 即1995年时农林牧业等各种产出, 还会有更大的提高, 治理效益有更大的增长。

表2 不同年份各指标值
Table 2 Norm values of years

年 份 Year	1982年以前	1985	1990	1993
粮食单产($\text{kg}/667\text{m}^2$)	23	86.9	111.3	149.7
Crop yield				
人均纯收入(元/人·年)	50	295	731	857.7
Net income percapita				
劳动生产率(元/劳·日)	2.33	5.01	8.97	12.88
Labour productivity				
径流系统				
Run off coefficient	0.65	0.33	0.21	0.16
侵蚀模数(t/km^2)	7375	752	370	240
Erosion modulus				
水土流失面积治理率(%)	15.0	85.2	91.2	98.0
Controlled rate of soil loss area				
劳动力利用率(%)	50.0	82.5	85.6	91.3
Use rate of labour power				
恩格尔系数(%)	65	61	59	58
Engle coefficient				
文盲率(%)	88.4	68.7	63.5	58.1
Rate of illiterate person				

表3 黄家二岔小流域综合治理效益评价结果

Table 3 Benefit evaluation of comprehensive management for Huangjia Ercha watershed

项目 Item	生态效益 Ecology benefits	经济效益 Economy benefit	社会效益 Society benefit	合计 Total
1982年以前	0.031	0	0.002	0.033
1985年	0.2128	0.0897	0.100	0.4025
1990年	0.2384	0.2005	0.1207	0.5596
1993年	0.2500	0.2728	0.1437	0.6665
1985~1993年	0.2337	0.1876	0.1215	0.5429

表4 黄家二岔小流域系统总体评估结果

Table 4 Systematic assessment to Huangjia Ercha watershed

年度 Year		1982	1985	1990	1993
生产力 Productivity	粮食亩产潜力实现率	0.260	0.521	0.723	0.747
	收入递增率(%)	0	37.1	8.2	11.3
均衡性 Equilibrium	生态经济系统结构势	0.1840	0.3390	0.5850	0.4220
	效益协调系数	0	0.3890	0.6243	0.6380
稳定性 Stability	时段	1983~1985	1986~1990	1991~1993	
	系数抗逆力(%)	64.1	85.37	88.44	
	稳定性系数	0.308	0.431	0.578	
持续性 Sustainability	持续性系数	1.21	1.05	1.13	
	系统发展速率	0.197	0.125	0.127	

2)同1982年以前相比,1985~1993年三大效益评价结果中,以生态效益提高最大,经济效益次之,社会效益提高水平较低。从表3中看出,生态效益的提高是经济效益发展的基础,生态效益水平从0.031提高到0.2128后,才使经济效益水平从0.0897猛增到0.2005,并提高到1993年的0.2728,继续保持和改善小流域生态环境条件是经济社会发展的前提条件。社会效益水平从1982年以前的0.002提高到1995年的0.100,1990年的0.1207和1993年的0.1437,但一直未能达到生态效益和经济效益的水平。

3)从1985年、1990年和1993年三大效益评价结果的平均值来分析,小流域进一步的治理活动是以取得更大的社会效益和经济效益为主。可以看出,社会效益的评价结果是,1985年比1982年增长49倍,1990年比1985年增长了20.7%,1993年比1990年增长了19.1%,劳动力利用率和恩格尔系数均变化明显,文盲率的降低速率为8.2%~8.5%,通过加强科技文化教育,提高文化素质,不仅将明显改善小流域社会子系统状况,且将促进经济的发展和生态意识的增强。经济效益的提高在初期较为迅速,1985年比1982年以前提高了89.7倍,1990年比1985年提高了1.24倍,且经济效益水平接近生态效益水平,到1993年,经济效益水平比1990年提高了36.1%,超过生态效益水平。从粮食生产潜力、人均纯收入和劳动生产率现状和潜力来看,经济效益水平还能继续提高。

4)黄家二岔小流域经过综合治理,其生产力、均衡性、稳定性和持续性指标值均呈增长的趋势,从1982年到1985年是生产力发展和均衡性迅速改善的时期,收入递增率提高了37.1%,效益协调系数从0提高到0.389,在此基础上,从1985年到1993年小流域收入和效益协调状况继续得到提高和改善,粮食亩产潜力实现率和生态经济结构势也表现同样的变化。稳定性和持续性是反映小流域阶段性变化的两个重要指标,从表4中可以看出,系统稳定性从“六五”到“七五”和“八五”初期在持续上升,系统抗逆力从64.10%提高到88.44%,稳定性系数从0.308提高到0.578。

“六五”初期,黄家二岔小流域生态经济效益值起点比较低,因此,“六五”期间持续性系数和系统发展速率比“七五”和“八五”期都要高,分别为1.21和0.197,从而为“七五”和“八五”持续稳定地发展奠定了基础。

根据小流域治理效益评价结果与生产力、均衡性、稳定性和持续性的指标值动态变化,可以认为黄家二岔小流域的生态、经济和社会复合系统,已达到了持续、稳定和协调发展的阶段。

参 考 文 献

- 1 Watershed survey and Planning. *FAO Watershed Management Field Manual*. Roma, Italy. 1990. 136:170
- 2 Watershed Conservation. *A collection of papers for Developing Countries*. The Chinese Soil and Water Conservation Society and Colorado state University, Taipei, Taiwan and Fort Collins, Colorado. 1986, 92
- 3 孙立达,孙保平等著.《小流域综合治理理论与实践》.北京:中国科学技术出版社,1992. 6
- 4 Casley D J & Kumar K. *Project Monitoring and Evaluation in Agriculture*. Published for the World Bank. The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London. 1987
- 5 Mather H N. *Monitoring and Evaluation of Watershed Management Work in Watershed Management*. Ed. by P. N. Bhatt, Central Soil and Water Conservation Research and Training Institute, Dehradun, India. 1979
- 6 Ted C. Sheng. *Watershed Project Monitoring and Evaluation*, Watershed Conservation 1, The Chinese Soil and Water Conservation Society and Colorado University.
- 7 李中魁. 水土保持规划中的软决策. 水土保持通报, 1986, (6)
- 8 李中魁,孙立达. 试议小流域治理效益评价的几个问题. 水土保持科学研究与发展, 中国水土保持学会青年学术研究会编. 北京:中国林业出版社, 1993. 4
- 9 Endwards C A. The role of agroecology in sustainable agriculture. In: *Ecological Processes in Agro-Ecosystems*, NIAES Yokend. 1992
- 10 Marten G G. Productivity, stability, sustainability, equitability and autonomy as properties for agroecosystem assessment. *Agricultural Systems*. 1988, (26): 291~316
- 11 Sunner BR *et al.* The search for sustainable agroecosystems. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1989, 44: 111~116
- 12 Tang D. Developing agriculture and promoting sustainable agriculture. *Ecological Economy*, 1988, 19: 9~13
- 13 Neill Schaller. The concept of agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems and environment*. 1993, 46: (3)
- 14 Derek Doyle. Sustainable development: growth without losing ground. *Journal of Soil and Water Conservation*, January-February, 1991