

黄河上游甲积峪小流域生态系统管理能力动态评价

刘 峰¹, 刘建昌^{1,*}, 祁永新², 董仁才¹, 赵景柱¹, 左 煜³

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085;
2. 黄河水利委员会黄河上中游管理局, 西安 710021; 3. 陕西省富平县环境监测站, 渭南 711700)

摘要:对小流域生态系统管理水平进行有效评价, 可为管理者制定相应对策提供依据。在生态环境领域系统评价方法综述的基础上, 通过构建指标体系, 应用层次分析法对黄河上游甲积峪小流域生态系统管理水平进行了动态评价。研究表明, 1999 年至 2006 年该小流域生态系统管理能力处于一般偏差水平, 但正在向好的方向发展; 所建立的指标体系和分级标准对评价黄河上游小流域生态系统管理水平, 具有一定的适用性; 单指标评价和指标综合评价、静态和动态评价各有优势, 只有互相补充才能更好地评价小流域生态系统管理能力。

关键词:生态系统管理; 小流域; 综合评价; 层次分析法; 黄河

文章编号: 1000-0933(2009)05-2675-11 中图分类号: Q149 文献标识码: A

Evaluation on ecosystem management capacity dynamic of Jiajiyu catchment in upper reaches of the Yellow River

LIU Feng¹, LIU Jian-Chang^{1,*}, QI Yong-Xin², DONG Ren-Cai¹, ZHAO Jing-Zhu¹, ZUO Yu³

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Upper and Middle Reaches Bureau of Yellow River, Xi'an 710021, China

3 Environmental Monitoring Station of Fuping County, Weinan 711700, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2675 ~ 2685.

Abstract: Evaluation on ecosystem management capacity of catchment can provide important information for decision-makers, so that they can take effective measures to strengthen catchment management. The indicator system of comprehensive evaluation on catchment management capacity was designed and the ecosystem management capacity dynamic of Jiajiyu catchment in the upstream of the Yellow River was evaluated with the method of analytic hierarchy process (AHP). The results showed that: (1) the level of ecosystem management capacity for Jiajiyu catchment was low, though it keep increasing from 1999 to 2006; (2) the developed indicator system and its classification showed feasibility in evaluating the ecosystem management capacity of catchment in upstream of Yellow River; and (3) although single-indicator evaluation and integrated indicator evaluation, static and dynamic evaluation possessed advantages respectively, integrated application of different methods would achieve more reasonable evaluation results of ecosystem management capacity for catchment.

Key Words: ecosystem management; catchment; comprehensive evaluation; analytic hierarchy process (AHP); Yellow River

基金项目:国家自然科学基金资助项目(70325002); 国家科技部社会公益资助项目(2005DIB3J002); 中国科学院重要方向资助项目(KZCX3-SW-438)

收稿日期: 2008-01-11; 修订日期: 2009-02-02

致谢:感谢水利部水土保持监测中心李智广, 黄河上中游管理局何兴照、赵光耀、王还珠, 平凉市崆峒区水保局张建平、梁智峰在指标体系构建和资料收集方面给予的大力帮助。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: amoytiger@163.com

生态系统管理(ecosystem management)已经有 10 多年的发展过程,然而其定义和理论框架尚处在争议之中^[1]。赵士洞、任海等人对此做过比较全面的总结^[2,3]。生态系统管理是指,调控生态系统内部结构和功能、输入和输出,使其达到社会所期望的状态^[4];也指利用生态学、经济学、社会学以及管理学原理,来长期经营管理生态系统的生产、恢复或维持生态系统的整体性和所期望的状态、利用、产品、价值和服务等^[5]。这些定义大都随着研究的目的、对象、角度、专业不同而不断变化^[6~12]。

流域综合管理是以流域集水区为单元,对流域内各类资源实行协调的、有计划的、可持续的开发与管理,不断维护和提高环境质量,实现流域的经济、社会和环境福利的最大化^[13,14]。我国流域管理体制从曾经的“多头管理”,陆续建立了长江水利委员会等七大流域管理机构,积累了不少成功的管理经验^[15]。部分地区的小流域管理已取得明显效果,表明我国小流域治理已进入小流域管理阶段^[16]。

评价是对照标准判断观测结果的过程。综合评价是根据一个复杂系统同时受到多种因素影响的特点,在综合考察多个有关因素时,依据多个指标对复杂系统进行总评价的方法^[17]。生态环境领域常用的几种综合评价方法,主要包括综合评分法^[18]、灰色关联度法^[19~22]、层次分析法^[23~25]、主成分分析法^[26~29]、均方差决策法^[30]、多目标决策灰色关联度投影法^[31,32]、生态足迹方法^[33~35]、能值分析法^[36~41]、物质量和价值量法^[42~45]、全排列多边形综合图示法^[46]、基于粗糙集理论和自组织映射神经网络的多指标综合评价方法等^[47]。

长期以来,对小流域的综合效益多以生态、社会和经济效益为主进行评价,简称“三大效益”^[23,48~52]。流域管理部门则多采用^[42]进行小流域综合效益评价。但这种传统的水土保持综合治理项目评价指标体系和方法,不能全面反映小流域治理活动对流域生态系统和社会经济的影响。同时,《水土保持综合治理效益计算方法》中的指标体系是针对全国范围内的标准,侧重于对水土保持具体措施微观效益的计算,对社会经济效益计算只做出了概括性的评价,缺乏对新时期小流域管理效益的评价指标。此外,由于小流域综合治理的最终目标是要实现小流域可持续发展,评价的目标层应该在一定程度上还应该体现小流域生态恢复活动对小流域可持续发展能力的贡献。

小流域综合评价指标体系要满足对小流域可持续发展能力的静态测算和动态评估,要能够体现小流域的水土流失及其防治动态,及时跟踪小流域生态环境的变化趋势,有效揭示社会、经济、人口和生态环境之间的相互关系和矛盾,分析矛盾产生的原因,为政府部门制定今后的小流域发展战略,调整产业结构等相关的宏观管理和决策提供信息支持。本文选择黄河上游典型小流域甲积峪为案例区,开展小流域生态系统管理评价的指标体系和方法研究。

1 研究区生态系统管理能力动态评价框架

1.1 研究区概况

甲积峪小流域(东经 106°57'02"~107°01'59",北纬 35°14'18"~35°18'00")位于黄土高原西缘,是泾河流域上游的一级支流,距甘肃省东部平凉市区 15km。海拔 1382~1785m,流域面积 28.2km²,年侵蚀模数 6600t/km²。总农业人口 3692 人,人均耕地 0.34hm²。该流域属旱作农业区,以粮食生产为主,2005 年人均产粮 462 公斤,农业总产值 1018.3 万元,人均现金收入 1200 元。近些年世界银行进行的流域综合管理项目主要集中在基础设施类、环境治理类、生计改善类、能力建设类等。管理部门以流域为治理单元,以水土资源的永续利用为目标,以改善生产生活条件、脱贫致富为宗旨,以群众和政府部门的共同参与为前提,整合县(区)级相关部门的项目资源,开展了一系列综合管理工作。通过科学治理开发,有效地控制了水土流失,对改善小流域生态系统稳定性、促进农村经济发展起到了积极作用,发挥了显著的生态、经济和社会效益。

1.2 评价方法和指标

(1) 指标构建

按照代表性、可操作性、可比性、经济性等原则构建指标。经过多次论证会、专家咨询会、内部讨论和用户沟通等过程,通过分析,最终形成了面向黄河上游小流域生态系统管理的评价指标体系。评价指标体系分为 3 个层次,分别是目标层(一级指标)、准则层(二级指标)和指标层(三级指标),见表 1。

表 1 小流域生态系统管理指标体系和权重表

Table 1 Indicators system of evaluation on ecosystem management capacity for Jiajiuyu catchment

准则层 Sub-system index	权重 weight	指标层 index	权重 weight	数据来源 Data resource
生态支持(B1) Ecological support	0.3440	水资源承载力(C11) Water resources carrying capacity	0.4660	世界银行项目 World Bank project
		土地生产力(C12) Land productivity	0.2741	农业局 Agricultural Bureau
		固碳综合能力(C13) Ability of storage carbon	0.1344	世界银行项目 World Bank project
		物种数量(C14) Species number	0.0587	世界银行项目 World Bank project
		生物丰度指数(C15) Percentage of vegetation abundance	0.0668	世界银行项目 World Bank project
水土保持(B2) Soil and water conservation	0.1836	土壤侵蚀模数(C21) Modulus of soil erosion	0.0888	水利水保局 Water Conservancy Bureau
		年径流模数(C22) Modulus of runoff	0.0659	水土保持监测站 Soil and Water Monitoring Station
		年输沙模数(C23) Modulus of sediment transportation	0.0659	水土保持监测站 Soil and Water Monitoring Station
		泥石流灾害减轻程度(C24) Reduction of debris flows hazard	0.0520	水利水保局 Water Conservancy Bureau
		耕地平均坡度(C25) Average slope gradient of land	0.2504	DEM 获取 DEM resource
		治理率(C26) Land amelioration percentage	0.3624	水利水保局 Water Conservancy Bureau
		覆盖率(C27) Forest coverage	0.1145	水利水保局、林业局 Water Conservancy Bureau and Forest Bureau
环境保护(B3) Environmental protection	0.1304	地表水环境质量水平(C31) Surface water quality index	0.6964	环保局 Environmental Bureau
		垃圾清运、堆肥或卫生填埋率(C32) Garbage full treatment percentage	0.0942	环保局 Environmental Bureau
		农用化肥施用强度(C33) Fertilizer application quantity	0.2094	农业局、农调队 Agricultural Bureau and Agricultural Investigation Team
社会进步(B4) Social progress	0.1352	恩格尔系数(C41) Engers coefficient	0.0850	统计局 Statistic Bureau
		饮用水资源可获得性(C42) Drink water acquirability	0.4205	农调队、世界银行项目 Agricultural Investigation Team and World Bank project
		人均医疗人员数量(C43) Medical staff per capita	0.1375	农调队、世界银行项目 Agricultural Investigation Team and World Bank project
		人均道路面积(C44) Road area per capita	0.1471	农调队、世界银行项目 Agricultural Investigation Team and World Bank project
		妇女参与项目的程度(C45) Women's participation degree	0.0444	妇联 Women Union
		儿童入学率(C46) Child enrollment rate	0.0858	农调队、世界银行项目 Agricultural Investigation Team and World Bank project
		劳动力文盲率(C47) Illiteracy rate of labor force	0.0476	农调队、世界银行项目 Agricultural Investigation Team and World Bank project
		农技推广度(C48) Extension of agricultural technology application	0.0322	科技局 Science and Technology Bureau
经济发展(B5) Economic development	0.1281	农产品商品率(C51) Commercial rate of agricultural products	0.0184	农业局 Agricultural Bureau
		可耕地比重(C52) Proportion of cultivable land	0.0608	农业局 Agricultural Bureau

续表

准则层 Sub-system index	权重 weight	指标层 index	权重 weight	数据来源 Data resource
管理调控 (B6) Control and Regulation	0.0788	非农收入比例 (C53) Proportion of non-agriculture income	0.0207	农调队、世界银行项目 Agricultural Investigation Team and World Bank project
		农民人均纯收入 (C54) Net income per capita of farmer	0.0282	农调队、世界银行项目 Agricultural Investigation Team and World Bank project
		流域治理经费投入 (C61) Watershed amelioration spendings	0.0395	水利水保局 Water Conservancy Bureau
		各部门协调能力 (C62) Harmonization between departments	0.0164	世界银行项目、政府信息中心 World Bank project and Government Information Center
		参与式宣传普及率 (C63) Popularization rate of participated propagandization	0.0062	世界银行项目 World Bank project
		公众对小流域项目的满意度 (C64) Public satisfaction degree of catchment projects	0.0167	世界银行项目 World Bank project

括号中字母和数字表示各指标的代码 The letters and numbers in parentheses indicates the indicator code

(2) 评价方法

根据以上分析,本研究首先进行单指标评价,再采用层次分析法进行综合评价。单项指标值的标准化是在各指标绝对值计算的基础上,按照分级标准{很差(5级或E级),较差(4级或D级),一般(3级或C级),较好(2级或B级),很好(1级或A级)}对应的标准值分别为{[0,0.2],[0.2,0.4],[0.4,0.6],[0.6,0.8],[0.8,1]},并参照黄河上游小流域的特征和相关文献建立的,其具体分级标准如表2和表3所示。使用插值方法计算各单项指标标准值,指标标准值越高说明该指标反映的状况越好。通过构造专家判断矩阵计算各指标的权重(表1)。在确定比较准则后,比较若干个因素对同一目标的影响,从而确定其在此目标中所占的比重,具体过程详见文献^[53]。

1.3 评价内容

(1) 单指标评价

单个指标评价的结果及其统计,能衡量系统某一方面的状况。如某指标值低于国家规定的标准,则不必进行下一步的综合考评;较差的单个指标数量超过一定的数量即可认定该流域的状况为较差;某一指标几年的变化或改善速度小于某一标准即可判定该流域某方面工作较差;某些管理关键指标在逐年变坏,即判定该流域综合管理水平趋差。单指标评价具有直观性强、指义明确、方法简单、操作性强、适用范围广等特点,能满足不同专业、不同部门、不同背景人群关注小流域状况不同方面的需求,易于推广。

(2) 综合评价

只通过小流域的某些单项指值的大小来判定小流域的综合状况,往往以偏盖全,忽略了小流域的综合水平和各指标间的加乘、弥补、抵销效应。应将小流域的所有单个指标评价结果按一定的方法加总,评价加总值的大小,衡量小流域的综合状况。综合评价具有抽象性强、容易进行横向对比等特点,能满足管理者、决策者、综合部门等关注小流域状况的需求。本研究中的层次分析法即是在单指标计算、分级、评价的基础上进行的。

(3) 静态和动态评价

指标在某一年的值称为静态值,而指标在不同年际间的各种变化值,则称为动态值。静态评价内容主要包括:在评价时段的各级指标计算值,不同级别区间内指标的分布情况;最好、最差指标是哪个指标等。动态评价内容可包括:各级指标值年际平均增加量、相对变化率,不同变化速度的各级指标分布情况,平均增加量最大、最小指标,平均变化率最大、最小指标等,各级指标的变化趋势等。

1.4 数据来源与采集

根据小流域生态系统综合管理评价指标体系的特点,认为小流域综合评价应每 3a 开展 1 次,不断提供最新的小流域综合管理成果信息,及时为决策部门提供服务。但由于个别指标数据的获取需要依靠其他机构和部门,而这些数据的更新有其自身的周期性。

表 2 生态支持、水土保持和环境保护各指标分级

Table 2 Classification for indicators of ecological maintenance, water and soil conservation and environmental protection

评价指标 Index	指标绝对值分级标准 Classification of index value
水资源承载力 Water resources carrying capacity(m^3/person)	$[0,1000)$, $[1000,4000)$, $[4000,7000)$, $[7000,10000)$, $[10000, \infty)$
土地生产力 Land productivity($500\text{g}/667\text{m}^2$)	$[0,100)$, $[100,400)$, $[400,700)$, $[700,1000)$, $[1000, \infty)$
固碳综合能力 Ability of storage carbon($\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$)	$[0,10)$, $[10,20)$, $[20,30)$, $[30,40)$, $[40, \infty)$
物种数量 Species number(No.)	$[0,40)$, $[40,60)$, $[60,80)$, $[80,100)$, $[100, \infty)$
生物丰度指数 Percentage of vegetation abundance(%)	$[0,20)$, $[20,35)$, $[35,55)$, $[55,75)$, $[75,1]$
土壤侵蚀模数 Modulus of soil erosion($\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$)	$[8000, \infty)$, $[5000,8000)$, $[2500,5000)$, $[1000,2500)$, $[0,1000)$
年径流模数 Modulus of runoff($\text{m}^3/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$)	$[100000, \infty)$, $[7000,10000)$, $[40000,70000)$, $[10000,40000)$, $[0,10000)$
年输沙模数 Modulus of sediment transportation($\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$)	$[10000, \infty)$, $[7000,10000)$, $[4000,7000)$, $[1000,4000)$, $[0,1000)$
泥石流灾害减轻程度 Reduction of debris flows hazard(level)	(没有减轻,略有减轻,明显减轻,基本根治,根治)(non lessened, little lessened, average lessened, more lessened, most lessened) ^[54]
耕地平均坡度 Average slope gradient of land($^\circ$)	$[25, \infty)$, $[10,25)$, $[5,10)$, $[2,5)$, $[0,2)$
治理率 Land amelioration percentage(%)	$[0,20)$, $[20,35)$, $[35,55)$, $[55,75)$, $[75,1]$
覆盖率 Forest coverage(%)	$[0,20)$, $[20,35)$, $[35,55)$, $[55,75)$, $[75,1]$
地表水环境质量水平 Surface water quality index(level)	(V类,IV类,III类,II类,I类) ^[55]
垃圾清运、堆肥或卫生填埋率 Garbage full treatment percentage(%)	$[0,20)$, $[20,35)$, $[35,55)$, $[55,75)$, $[75,1]$
农用化肥施用强度 Fertilizer application quantity(kg/hm^2)	$[700, \infty)$, $[500,700)$, $[300,500)$, $[100,300)$, $[0,100)$

表 3 社会进步、经济发展和管理调控各指标分级

Table 3 Classification for indicators of social commonweal, economic development and management regulation

评价指标 Index	指标绝对值分级标准 Classification of index value
恩格尔系数 Engers coefficient(%)	$[59, \infty)$, $[50,59)$, $[40,50)$, $[30,40)$, $[0,30)$
饮用水资源可获得性 Drink water acquirability(min)	$[50, \infty)$, $[35,50)$, $[20,35)$, $[5,20)$, $[0,5)$
人均医疗人员数量 Medical staff per capita(Medicals/1000 persons)	$[0,0.96)$, $[0.96,2)$, $[2,3.8)$, $[3.8,6.6)$, $[6.6, \infty)$
道路密度 Road area per capita($\text{km}/100\text{km}^2$)	$[0,1)$, $[1,4)$, $[4,7)$, $[7,10)$, $[10, \infty)$
妇女参与项目的程度 Women's participation degree(%)	$[0,10)$, $[10,20)$, $[20,35)$, $[35,50)$, $[50,100]$
儿童入学率 Child enrollment rate(%)	$[0,40)$, $[40,60)$, $[60,80)$, $[80,98)$, $[98,100]$
劳动力文盲率 Illiteracy rate of labor force(%)	$[35, \infty)$, $[25,35)$, $[15,25)$, $[5,15)$, $[0,5)$
农技推广度 Extension of agricultural technology(%)	$[0,5)$, $[5,10)$, $[10,30)$, $[30,50)$, $[50,100]$
农产品商品率 Commercial rate of agricultural products(%)	$[0,20)$, $[20,40)$, $[40,60)$, $[60,80)$, $[80,100]$
可耕地比重 Proportion of cultivable land(%)	$[0,20)$, $[20,40)$, $[40,60)$, $[60,80)$, $[80,100]$
非农收入比例 Proportion of non-agriculture income(%)	$[0,60)$, $[60,70)$, $[70,80)$, $[80,90)$, $[90,100]$
农民人均纯收入 Net income per capita of farmer(RMB/a)	$[0,1000)$, $[1000,2000)$, $[2000,5000)$, $[5000,8000)$, $[8000, \infty)$
流域治理经费投入 Watershed amelioration spendings(10^4 RMB/ km^2)	$[0,2)$, $[2,20)$, $[20,40)$, $[40,60)$, $[60, \infty)$
各部门协调能力 Harmonization between departments	(无计划,有计划无协调,有计划但协调较少,长期协调但不完善,长效协调)(worst, worse, average, better, best)
参与式宣传普及率 Popularization rate of participated propagandization(%)	$[0,5)$, $[5,10)$, $[10,30)$, $[30,50)$, $[50,100]$
公众对小流域项目的满意度 Public satisfaction degree of catchment projects(%)	$[0,10)$, $[10,20)$, $[20,35)$, $[35,50)$, $[50,100]$

对于数据来源方面,国家权威部门的数据往往是行政区域尺度的统计数据,不能满足小流域尺度的评价需要。因此,本文中指标体系取值尽量取县域各部门的实际监测资料,包括统计部门的统计年鉴、国土资源部门的土地清查资料、林业部门的森林资源清查资料、水文部门的水文监测资料、水保部门的水土保持监测资料、遥感资料,以及应用相关地区的类似数据等方法,同时以农调队与世界银行项目采集的小流域尺度的数据加以补充,各指标的数据来源见表 1。

2 结果与分析

2.1 单项指标评价

在求得各指标绝对值的基础上,通过分级标准内插计算,获得各指标的标准值。甲积峪小流域各指标 1999 年、2003 年和 2006 年的静态标准值,1999 年至 2003 年、2003 年至 2006 年、1999 年至 2006 年各指标平均每年的动态增加标准值,如图 1 所示。

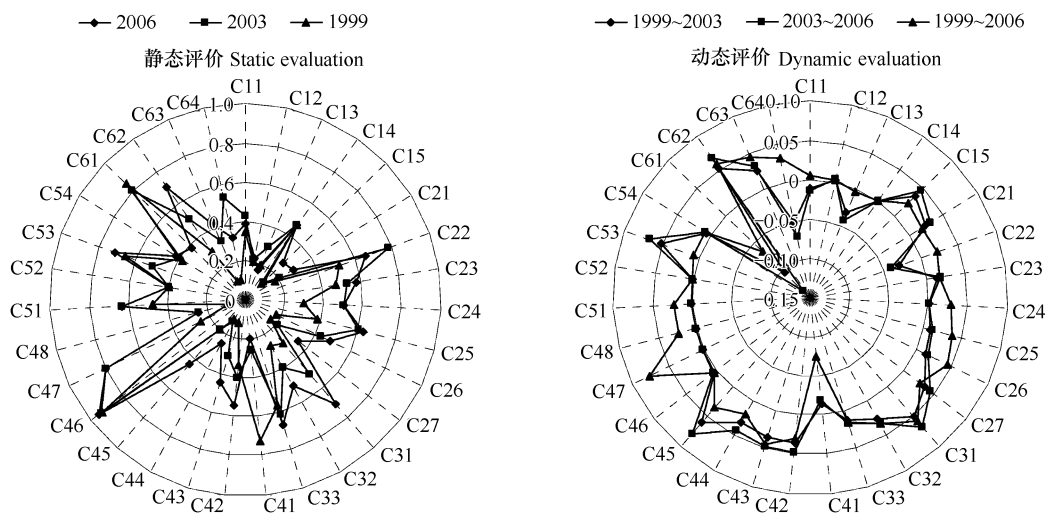


图 1 单项指标的静态和动态评价结果

Fig. 1 Static and dynamic evaluation results based on single-indicator method

分别统计落入各个级别区间的指标数量,即可得到该小流域中哪些指标的处于何种状态,甲积峪小流域单指标评价结果见表 4 所示。1999 年大部分指标处于一般、较差和很差区间中,位于较好以上区间的指标数 3 个,仅占总指标数的 9.7%。很差指标为固碳综合能力、植被覆盖指数、土壤侵蚀模数、治理率、恩格尔系数、人均道路面积、人均医疗人员数量、农技推广度、参与式宣传普及率和公众对小流域项目的满意率。很好区间的指标为儿童入学率和流域治理经费投入,指标数量仅占 6.5%。2003 年大部分指标处于较好、一般和较差区间中,位于较好以上区间的指标数 7 个,占总指标数的 22.6%。从指标数量来看,流域综合管理水平变好的趋势明显。很差指标为植被覆盖指数和人均道路面积。很好区间的指标为儿童入学率,指标数量仅占 3.2%。2006 年大部分指标处于较好、一般和较差区间中,位于较好以上区间的指标数 11 个,占总指标数的 35.5%。从指标数量来看,流域综合管理水平变好的趋势明显。很差指标为固碳综合能力和恩格尔系数。很好区间的指标为儿童入学率、流域治理经费投入和公众对小流域项目的满意率,指标数量占 9.7%。

单指标动态评价结果如表 5 所示。1999 年至 2003 年间大部分指标变化速度处于一般水平,占总指标数的 71.0%;趋差变化的指标为水资源承载力、固碳综合能力、年径流模数、恩格尔系数、流域治理经费和公众对小流域项目的满意率,其余指标均趋好。2003 年至 2006 年处于一般变化速度的指标数量占总指标数的 58.1%;趋差和趋好变化的指标分布与 1999 年至 2003 年间相同。从 1999 年至 2006 年 7 年间的变化指标来看,处于一般变化速度的指标数量占总指标数的 77.4%;趋差指标为固碳综合能力、恩格尔系数和流域治理经费,其余指标均趋好。总体上,在各期大部分指标均趋好变化。

表 4 单指标静态评价统计表

Table 4 Statistics of static evaluation results based on single-indicator method

年份 Year	很好 (1 级或 A 级) Best (Grade 1 or Grade A)	较好 (2 级或 B 级) Better (Grade 2 or Grade B)	一般 (3 级或 C 级) Average (Grade 3 or Grade C)	较差 (4 级或 D 级) Worse (Grade 4 or Grade D)	很差 (5 级或 E 级) Worst (Grade 5 or Grade E)
1999	2	1	7	11	10
2003	1	6	14	8	2
2006	3	8	11	6	2

表 5 单指标动态评价统计表

Table 5 Statistics of dynamic evaluation results based on single-indicator method

年份 Year	变化较快 (年变化速度 ≥ 0.05) Quick change (Change rate of year ≥ 0.05)	变化一般 (年变化速度 < 0.05) Average change ($0 < \text{Change rate of year} < 0.05$)	变化较慢或趋坏 (变化速度为负值,即趋坏,变化较慢) Slow change or worse change (Change rate of year ≤ 0)
1999	4	22	5
2003	7	18	6
2006	4	24	3

2.2 综合评价

通过权重与指标标准值加乘求和,可计算出二级指标和一级指标的标准值(综合指数);分段计算各时段二级指标和一级指标的增减量,可得出二级和一级指标的各类变化值。甲积峪小流域各二级指标 1999 年、2003 年和 2006 年的静态标准值,1999 年至 2003 年、2003 年至 2006 年、1999 年至 2006 年各二级指标平均每年的动态增加标准值,如图 2 所示。

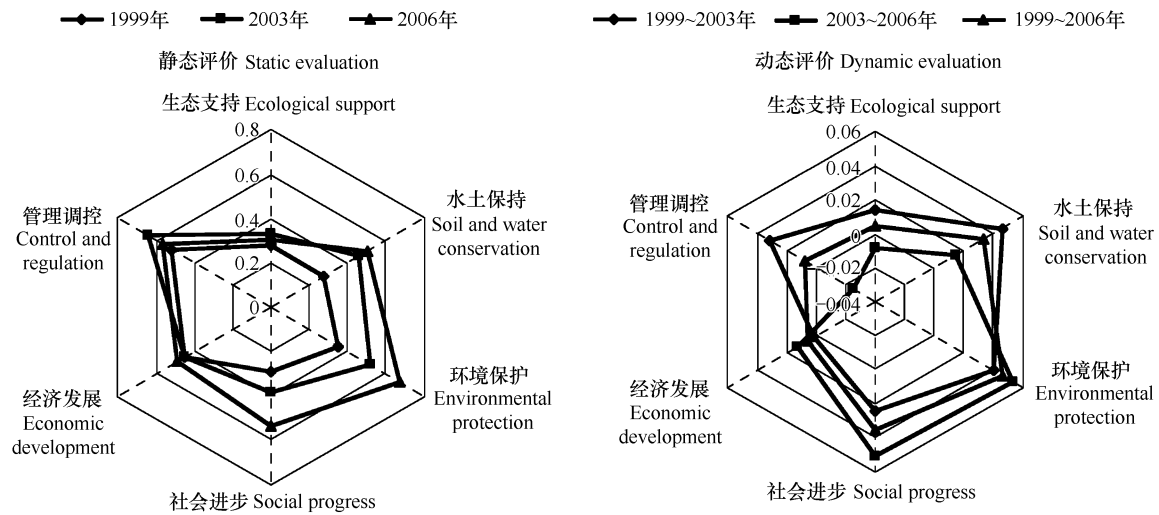


图 2 综合指标的静态和动态评价结果

Fig. 2 Static and dynamic evaluation results based on system-indicator method

由图可知,1999 年生态支持、水土保持、环境保护和社会进步处于较差区间,经济发展和管理调控处于一般状态区间。2003 年生态支持和社会进步处于较差区间,水土保持、环境保护和经济发展处于一般状态区间,管理调控处于较好状况区间。2006 年生态支持处于较差区间,水土保持、经济发展、社会进步和管理调控均处于一般状态区间,环境保护处于较好状况区间。目标层甲积峪小流域生态系统管理水平,1999 年综合指数为 0.345,处于较差状态,2003 和 2006 年综合指数分别为 0.433 和 0.462,处于一般状态。

动态评价结果为,1999 年至 2003 年生态支持、社会进步和经济发展变化速度处于较慢水平,水土保持、环境保护和管理调控变化速度处于较快水平;各指标均趋好。2003 年至 2006 年水土保持和经济发展变化速度处于较慢水平,社会进步和环境保护变化速度处于较快水平;生态支持和管理调控趋差,其余指标趋好。从 1999 年至 2006 年的变化来看,生态支持、经济发展和管理调控变化速度处于较慢变化水平,水土保持、环境保护和社会进步变化速度处于较快变化水平;各指标均趋好变化。目标层甲积峪小流域生态系统管理水平从 1999 年至 2006 年均趋好,变化速度一般。

3 讨论

生态环境领域的评价方法主要为综合评价,然而综合评价结果常常受到争议^[17,45,49]:一是综合评价形成一个囫圇的整体评价数值,不能给出各个角度的具体结果。二是所应用的评价方法是否越复杂越好?其实一种方法往往由于其简单,才容易得到较广泛的应用。而那些复杂方法,只有深入浅出的把握其抽象叙述,才能最大限度的发挥其作用。三是对于相同的研究对象,采用不同的评价方法,常常会得出不同的结果和排序。四是综合评价结果往往会由于“评价要素”的变化而产生名次的变化。有些要素的变动引起逆序是合理的,比如,评价指标体系的变更、权数体系的变化。但有些要素变动引起的逆序是不够合理的,如指标形式、样本构成等。

从文献中指标选择来看,治理程度、林草覆盖率、侵蚀模数、地表径流模数、粮食单产、人均基本农田面积、农产品商品率等指标为选用频率较高的小流域评价指标;系统抗逆性、土壤抗冲性等指标选用频率较小;还有一些对评价生态系统维护和农业生产过程具有重要意义的指标,如固碳能力、生物多样性、灌溉的可获得性、耕地的平均坡度等,由于评价者对其认识不足,而没有适当地选用。从指标体系的结构来看,主要结构类型为“三大效益”体系,其次为压力、状态、响应结构,还有使用驱动因子、方式因子、管理因子类型等。从指标体系的构建方法和权重赋值方法来看,主要涉及一般分类法、层次分析法、专家判断法、模糊综合评价法、文献频度法、主成分分析法等。从指标的数量来看,应用广泛、引用较多的评价指标体系的指标数量均控制在 20~30 个左右。指标数量越多,越趋于理论上的探讨;指标数量越少,越趋于实际的评价工作。

从评价结果来看,在 1999 年以前甲积峪小流域生态系统综合管理水平较差,主要原因在于自然条件差、水土流失严重、经济基础薄弱、实施治理项目少、保障体系不健全及管理调控能力较差。2003 年以后到 2006 年该流域实施了较多的国家治理项目、世行和英国赠款项目,水土流失得到控制、经济发展和管理调控能力逐步加强,使得综合管理水平不断提高。单项指标评价和综合评价在小流域生态系统综合管理评价方面反映的问题具有一致性,主要原因在于指标体系和各指标分级标准能如实反映该小流域的基本特点。

References:

- [1] Yu G R. A conceptual framework and the ecological basis for ecosystem management. *Chinese Journal Applied Ecology*, 2001, 12(5): 787—794.
- [2] Zhao S D, Wang Y X. Summary on ecosystem management. *Chines Journal of Ecology*, 1997, 11(4): 35—38.
- [3] Ren H, Wu J G, Peng S L, *et al.* Concept of ecosystem and its essential element. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(3): 455—458.
- [4] Agee J K, Johnson D R. *Ecosystem management for parks and wilderness*. Seattle, Washington: University of Washington Press, 1988.
- [5] Overbay J C. *Ecosystem Management*. In: *Taking an ecological approach management*. United State Department of Agriculture, Forest Service Press, 1992, 3—15.
- [6] Society of American Foresters. *Sustaining long-term forest health and productivity*. Society of American Foresters, Behesda, Maryland, USA, 1993.
- [7] American Forest and Paper Association. *Sustainable forestry principles and implementation guidelines*. American Forest and Paper Association, Washington, D C, USA, 1993.
- [8] Grumbine R E. What is ecosystem management? *Conservation Biology*, 1994, 8(1): 27—38.
- [9] Wood C A. Ecosystem management: achieving the new land ethic. *Renewable Resource Journal*, 1994, 12(1): 6—12.
- [10] Christensen N L, Bartuska A M, Brown J H, *et al.* The report of the ecological society of America committee on the scientific basis for ecosystem

- management. *Ecological Application*, 1996, 6(3): 665—691.
- [11] Boyce M S, Haney A. *Ecosystem management: applications for sustainable forest and wild life resources*. New Haven: Yale University Press, 1997. 3—37.
- [12] Daily G C S, Alexander P R, Ehrlich P R, *et al.* Ecosystem services: benefits supplied to human societies by natural ecosystems. *Issues in Ecology*, 1997, (2): 1—16.
- [13] Isobel W H. *Integrated watershed management: Principles and practice*. New York: John Wiley & Sons Inc, 1998. 1—14.
- [14] Li H P, Chen W, Liu X M. Methods and technology of integrated watershed management. *Journal of Lake Sciences*, 2004, 16(1): 85—90.
- [15] Wang H, Yang X F, Ruan B Q. *Water resources management in watershed level*. Beijing: Science Press, 2001.
- [16] Bi X G, Duan S H. Practices from comprehensive control of soil erosion to integrated watershed management. *Soil and Water Conservation in China*, 2007, (1): 10—11.
- [17] Guo Y J. *Theory, method and application of comprehensive evaluation*. Beijing: Science Press, 2007. 1—13.
- [18] Jiang L J, Miao H, Ouyang Z Y. An investigation of factors that influence the effects of management of protected areas. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(11): 3776—3781.
- [19] Li S P. Grey system appraisal of benefits of comprehensive management for soil and water conservation. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1994, 14(5): 13—17.
- [20] Duan X J. Grey correlation analytic process of grain production and key factors in Yangtze Basin. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2000, 16(1): 30—34.
- [21] Ma Z F, Yu Z P, Zhou S X, *et al.* Fractal and grey system evaluation of Ordovician paleocrust of weathered reservoir in central eastern Ordos basin. *Petroleum Exploration and Development*, 2000, 27(1): 32—34.
- [22] Hao Y H, Zhou H C. A grey assessment model of regional eco-environment quality and its application. *Environmental Engineering*, 2002, 20(4): 66—68.
- [23] Li Z K. Study on benefit evaluation and systematic appraisal of small watershed control in loess plateau-taking Huangjia Ercha as example. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(3): 241—247.
- [24] Li X Y, Wang L X, Zhang Y S, *et al.* Analysis of roles of human activities in land desertification in arid area of northwest China. *Scientia Geographica Sinica*, 2004, 24(1): 68—75.
- [25] Zhao X N, Feng H, Wu P T, *et al.* Comprehensive evaluation of the rainwater resources-carrying capacity of small watershed of Loess Plateau. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2006, 14(3): 33—35.
- [26] Lin J Q, Wang B D, Ma J J, *et al.* Study on Integrated Evaluation Methods of Environmental Quality in Small Watershed Management. *Soil and Water Conservation in China*, 2004, (1): 18—21.
- [27] Ren R E, Wang H W. *Theory, method and application of multivariate statistical analysis*. Beijing: National Defense Industry Press, 1997. 92—119.
- [28] Zheng C D, Yin D S. The principal component analysis method in urban atmospheric environmental quality assessment. *Journal of Dalian Railway Institute*, 2002, 23(3): 39—41.
- [29] Wu B F, Luo Z M. Ecosystem health assessment of Daninghe river basin in the three gorges reservoir based on remote sensing. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2007, 16(1): 102—106.
- [30] Dai Q H, Liu G B, Tian J L, *et al.* Health diagnoses of eco-economy system in Zhifanggou small watershed on typical erosion environment. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7): 2219—2228.
- [31] Wang H X, Wang X, Yang X Y, *et al.* Application of multi-criteria decision grey relation projection method to synthetic benefit evaluation of soil and water conservation ecological project in small watershed. *Research of Soil and Water Conservation*, 2003, 10(4): 43—45.
- [32] Chang M D, Zhao G Y, Tian X F. The pattern and its evaluation of comprehensive control of soil erosion in the muddy and coarse sand area in the middle reach of Yellow River. Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 1997.
- [33] Wackernagel M, Yount J D. Footprints for sustainability: the next steps. *Environment, Development and Sustainability*, 2000, 2(1): 23—44.
- [34] Xiao Li, Jiang L, Chen Z J, *et al.* Analysis of catchment capacity of sustainable development with the ecological footprint method: a case study of Wuqiaohe Catchment, Wanzhou District, Chongqing City. *Rural Eco-environment*, 2005, 21(4): 22—27.
- [35] Xu Z M, Zhang Z Q, Cheng G D. *Theory and application of ecological economics*. Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 2003. 26—31.
- [36] Odum H T. Self-organization, transformity and information. *Science*, 1983, 242(4882): 1132—1139.
- [37] Odum H T. *Environmental accounting: emergy and environmental decision making*. New York: John Wiley & Sons, 1996. 20—50.
- [38] Wan S W, Qin P, Zhu H G, *et al.* Evaluation of two artificial wetlands in Yancheng Natural Reserve, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20

(5): 759—765.

- [39] Lan S F, Qin P. Emergy analysis of ecosystems. *Chinese Journal Applied Ecology*, 2001, 12(1): 129—131.
- [40] Lu H F, Lan S F, Chen F P, *et al.* Advances in energy analysis of agro-ecosystems. *Chinese Journal Applied Ecology*, 2004, 15(1): 159—162.
- [41] Dang X H, Liu G B, Li X L, *et al.* Analysis on small watershed eco-economic system in Loess Hilly Area: A case studies in Litaiping Small Watershed of Longde County. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(10): 3516—3525.
- [42] GB/T15774-1995. Method of benefit calculation for comprehensive control of soil erosion. The National Standard of the People's Republic of China. Beijing: Standards Press of China, 1995.
- [43] Zheng H, Ouyang Z Y, Zhao T Q, *et al.* The impact of human activities on ecosystem services. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(1): 118—123.
- [44] Zhao J Z, Xu Y J, Xiao H, *et al.* Ecosystem services evaluation based on comprehensive national power for sustainable development-the evaluations on 13 countries. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2003, 23(1): 121—127.
- [45] Zhao J Z, Xiao H, Wu G. Comparison analysis on physical and value assessment methods for ecosystems services. *Chinese Journal Applied Ecology*, 2000, 11(2): 290—292.
- [46] Li F, Liu X S, Hu D, *et al.* Evaluation method and its application for urban sustainable development. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4793—4802.
- [47] Wang D J, Zhou Q M, Chang Z L, *et al.* A new method on multi-indicators evaluation. *Statistics and Decision-making*, 2007, 235(4): 137—138.
- [48] Wang J Q, Chen C G, Li T S. Benefit evaluation of watershed management on Loess Plateau of Shaanxi Province. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2003, 23(6): 61—64.
- [49] Li Z G, Li R. Benefit evaluation methods of comprehensive harness for watershed management. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1998, 18(5): 19—23.
- [50] Liang H M, Zhao J. Study on benefit evaluation small drainage basin comprehensive fathering. *Ecological Economy*, 2001, (8): 12—14.
- [51] Wang H Z, Feng S. Economic analysis and assessment of World Bank Loan Project. *China Water Resources*, 2005, (12): 23—25.
- [52] Yuan A P. Methods of environmental benefit calculation for comprehensive control of soil erosion in small watersheds. *Research of Soil and Water Conservation*, 2001, 8(4): 165—169.
- [53] HJ/T192-2006. Technical criterion for eco-environmental status evaluation. Industry Standard of Environmental Protection of the People's Republic of China. Beijing: China Environmental Science Press, 2006.
- [54] Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and the Ministry of Water Resources of China. Debris flows in china. Beijing: Commercial Press, 2000.
- [55] GB3838-2002. Environmental quality standards for surface water. The National Standard of the People's Republic of China. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.

参考文献:

- [1] 于贵瑞. 生态系统管理学的概念框架及其生态学基础. *应用生态学报*, 2001, 12(5): 787—794.
- [2] 赵士洞, 汪业勤. 生态系统管理的基本问题. *生态学杂志*, 1997, 11(4): 35—38.
- [3] 任海, 邬建国, 彭少麟, 等. 生态系统管理的概念及其要素. *应用生态学报*, 2000, 11(3): 455—458.
- [14] 李恒鹏, 陈雯, 刘晓玫. 流域综合管理方法与技术. *湖泊科学*, 2004, 16(1): 85—90.
- [15] 王浩, 杨小柳, 阮本清. 流域水资源管理. 北京: 科学出版社, 2001.
- [16] 毕小刚, 段淑怀. 北京市从小流域治理走向小流域管理的实践. *中国水土保持*, 2007, (1): 10—11.
- [17] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用. 北京: 科学出版社, 2007. 1—13.
- [18] 姜立军, 苗鸿, 欧阳志云. 自然保护区管理效果影响因素. *生态学报*, 2006, 26(11): 3776—3781.
- [19] 黎锁平. 水土保持综合治理效益的灰色系统评价. *水土保持通报*, 1994, 14(5): 13—17.
- [20] 段学军. 长江流域粮食生产影响因素灰色关联分析. *农业系统科学与综合研究*, 2000, 16(1): 30—34.
- [21] 马振芳, 于忠平, 周树勋, 等. 鄂尔多斯盆地中东部奥陶系古风化壳储集层的分形及灰色系统评价. *石油勘探与开发*, 2000, 27(1): 32—34.
- [22] 郝永红, 周海潮. 区域生态环境质量的灰色评价模型及其应用. *环境工程*, 2002, 20(4): 66—68.
- [23] 李中魁. 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. *生态学报*, 1998, 18(3): 241—247.
- [24] 李香云, 王立新, 章予舒, 等. 西北干旱区土地荒漠化中人类活动作用及其指标选择. *地理科学*, 2004, 24(1): 68—75.
- [25] 赵西宁, 冯浩, 吴普特, 等. 黄土高原小流域雨水资源承载力综合评价. *中国生态农业学报*, 2006, 14(3): 33—35.
- [26] 林积泉, 王伯铎, 马俊杰, 等. 小流域治理环境质量综合评价方法研究. *中国水土保持*, 2004, (1): 18—21.

- [27] 任若恩,王惠文.多元统计数据分析—理论、方法、实例.北京:国防工业出版社,1997.92~119.
- [28] 郑成德,尹德松.主成分分析法在城市大气环境质量评价中的应用.大连铁道学院学报,2002,23(3):39~41.
- [29] 吴炳方,罗治敏.基于遥感信息的流域生态系统健康评价——以大宁河流域为例.长江流域资源与环境,2007,16(1):102~106.
- [30] 戴全厚,刘国彬,田均良,等.侵蚀环境小流域生态经济系统健康定量评价.生态学报,2006,26(7):2219~2228.
- [31] 王宏兴,王晓,杨秀英,等.多目标决策灰色关联投影法在小流域水土保持生态工程综合效益评价中的应用.水土保持研究,2003,10(4):43~45.
- [32] 常茂德,赵光耀,田兴芳.黄河中游多沙粗沙区小流域综合治理模式及其评价.郑州:黄河水利出版社,1997.
- [34] 肖莉,蒋莉,陈治谏,等.小流域可持续发展能力的生态足迹法分析——以重庆市万州区五桥河流域为例.农村生态环境,2005,21(4):22~27.
- [35] 徐中民,张志强,程国栋.生态经济学理论方法与应用.郑州:黄河水利出版社,2003.26~31.
- [38] 万树文,钦佩,朱洪光,等.盐城自然保护区两种人工湿地模式评价.生态学报,2000,20(5):759~765.
- [39] 蓝盛芳,钦佩.生态系统的能值分析.应用生态学报,2001,12(1):129~131.
- [40] 陆宏芳,蓝盛芳,陈飞鹏,等.农业生态系统能量分析.应用生态学报,2004,15(1):159~162.
- [41] 党小虎,刘国彬,李小利,等.黄土丘陵区小流域系统生态经济要素分析——以宁夏隆德县李太平小流域为例.生态学报,2006,26(10):3516~3525.
- [42] GB/T15774-1995.水土保持综合治理效益计算.中华人民共和国国家标准.北京:中国标准出版社,1995.
- [43] 郑华,欧阳志云,赵同谦,等.人类活动对生态系统服务功能的影响.自然资源学报,2003,18(1):118~123.
- [44] 赵景柱,徐亚骏,肖寒,等.基于可持续发展综合国力的生态系统服务评价研究——13个国家生态系统服务价值的测算.系统工程理论与实践,2003,23(1):121~127.
- [45] 赵景柱,肖寒,吴刚.生态系统服务的物质量与价值量评价方法的比较分析.应用生态学报,2000,11(2):290~292.
- [46] 李峰,刘旭升,胡聃,等.城市可持续发展评价方法及其应用.生态学报,2007,27(11):4793~4802.
- [47] 王大将,周庆敏,常志玲,等.一种新多指标综合评价方法.统计与决策,2007,235(4):137~138.
- [48] 王军强,陈存根,李同升.陕西黄土高原小流域治理效益评价与模式选择.水土保持通报,2003,23(6):61~64.
- [49] 李智广,李锐.小流域治理综合效益评价方法刍议.水土保持通报,1998,18(5):19~23.
- [50] 梁会民,赵军.小流域综合治理的生态经济效益评估研究.生态经济,2001,(8):12~14.
- [51] 王还珠,冯省.世行贷款项目经济分析和评价.中国水利,2005,(12):23~25.
- [52] 袁爱萍.小流域综合治理环境效益分析方法探讨.水土保持研究,2001,8(4):165~169.
- [53] HJ/T192-2006.生态环境质量评价技术规范.中华人民共和国环境保护行业标准.北京:中国标准出版社,2006.
- [54] 中国科学院/水利部成都山地灾害与环境研究所.中国泥石流.北京:商务印书馆,2000.
- [55] GB3838-2002.地表水环境质量标准.中华人民共和国国家标准.北京:中国标准出版社,2002.