

陕西省吴起县生态环境质量综合评价

秦伟, 朱清科, 方斌, 陈卫平

(北京林业大学 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要: 根据陕西省吴起县自然、社会和经济等方面的特点, 通过比较指标的使用频度、征询专家意见, 建立了吴起县生态环境质量评价指标体系, 应用层次分析法确定了指标的权重。在消除指标量纲的基础上, 计算了吴起县 1995 年至 2004 年的生态环境质量指数, 从自然环境、社会环境、经济环境三方面对该县生态环境质量 10 a 间的变化进行了定量评价与定性分析, 以期为当地及黄土高原县域可持续发展提供有益参考。

关键词: 生态环境质量; 层次分析法; 权重; 评价指标; 吴起县

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2007)06-0102-06

中图分类号: X144

Comprehensive Evaluation on Eco-environmental Quality of Wuqi County, Shaanxi Province

QIN Wei, ZHU Qing-ke, FANG Bin, CHEN Wei-ping

(Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating of
the Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China.)

Abstract: This study is based on the characteristics of nature, society, and economy of Wuqi County, Shaanxi Province. Through frequency analysis and expert consultation, the evaluation index system of eco-environment quality for Wuqi County is established and the weight of each index is calculated by using the method of analytic hierarchy process(AHP). After eliminating the dimension influence, the eco-environment quality index for Wuqi County from 1995 to 2004 is calculated. In view of the natural eco-environment, social eco-environment, and economic eco-environment, the variation of eco-environmental quality of Wuqi county in the past ten years is qualitatively evaluated and quantitatively analyzed. The research work provides a reference for sustainable development of Wuqi County and the Loess Plateau.

Keywords: eco-environmental quality; analytic hierarchy process; weight; evaluation index; Wuqi County

广义的生态环境质量受自然、人为等多种要素共同影响, 是一定时间和空间范围内, 自然环境和人文环境之间进行能量交换和物质循环的动态平衡^[1], 是区域可持续发展水平的集中体现。生态环境质量评价通过研究一定时空范围内生态环境系统在人类和自然因素共同作用下的变化状态和变化规律, 为合理利用和配置环境要素, 促进会区域可持续发展提供决策依据。黄土高原半干旱地区气候干旱, 自然灾害多发, 农业生产水平低下, 经济欠发达, 是我国生态环境最脆弱, 社会经济最落后的地区之一。近年来, 通

过实施退耕还林等一系列林业生态工程和西部大开发战略, 使当地的自然环境得到改善, 社会经济得到发展, 生态环境质量的整体水平有了显著提高。定量评价当地生态环境质量的变化, 分析相关原因具有明显的现实意义。

国内有关生态环境质量评价的研究起步于 20 世纪 80 年代末 90 年代初, 但到目前为止, 还没有形成统一的概念和原理^[2], 已有的研究多是单纯从自然环境的角度评价一定区域的生态环境质量^[3-4], 或者就森林、湿地等特定类型的生态系统进行评价^[5-6]。然

收稿日期: 2006-11-08

修回日期: 2007-11-05

资助项目: 中国水利水电科学研究院国际泥沙研究培训中心生态建设综合效益评价横向课题

作者简介: 秦伟(1982—), 男(汉族), 陕西省汉中市人, 在读博士, 主要从事林业生态工程及水土保持研究。E-mail: qinwei_office@sina.com.

而,自然环境往往是制约经济与社会发展的基本条件,经济与社会发展水平又会反过来成为改变自然环境的重要前提。随着科学发展观的提出,一定区域的生态环境质量应该是在确保可持续发展的前提下,自然、经济与社会各类要素间配置合理性及发展协调性的综合度量。因此,评价生态环境质量必须全面考虑自然、经济、社会各要素的变化及其相互影响。本文以地处黄土高原半干旱区的陕西省吴起县为研究区,从自然、社会、经济三方面入手,具有针对性地建立生态环境质量综合评价指标体系,定量评价当地近10 a的生态环境质量变化,并进行综合分析,以期为进一步提高黄土高原半干旱地区的生态环境质量,促进区域可持续发展提供有益的参考。

1 研究区概况

1.1 自然生态条件概况

陕西省吴起县地跨东经 $107^{\circ}38'57''$ — $108^{\circ}32'49''$,北纬 $36^{\circ}33'33''$ — $37^{\circ}24'27''$,海拔1 233~1 809 m,面积 $3\,791.5\text{ km}^2$,属黄土高原丘陵沟壑区。多年平均降雨量478.3 mm,64%以上集中在7—9月,降水年际变化大,季节分配不均,属典型干旱半干旱地区,年均气温 $7.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,无霜期96~146 d,为暖温带大陆性干旱季风气候。开展退耕还林以前植被稀少,水土流失严重,全县水土流失面积 $3\,696\text{ km}^2$,占总土地面积的97.4%。多年平均土壤侵蚀量达 $1.53\times 10^4\text{ t}$,是陕北水土流失最严重的地区。同时,冰雹、大风、暴雨及霜冻等自然灾害频繁。退耕还林后植被覆盖度大大提高,水土流失得到控制,土壤侵蚀模数下降为 $5.40\times 10^3\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,自然环境明显改善。

1.2 社会经济条件概况

吴起县辖4镇、8乡、164个村。截止2005年底,全县总人口125 698人,人口密度为33人/ km^2 。其中农村人口108 229人,占总人口的86.1%。1999年吴起作为全国退耕还林试点县,一次性退耕 $103\,666.7\text{ hm}^2$ 。截止2005年底,累计退耕还林 $154\,526.7\text{ hm}^2$,国家确认面积 $113\,246.7\text{ hm}^2$ 。退耕还林以前,吴起县以传统农耕地为主,产出较低,经济落后,是国家贫困县。

开展退耕还林以来,全县实施“封山禁牧,舍饲养畜”,积极调整农业经济结构,大力发展避灾农业,林业和畜牧养殖业在第一产业中的比重大大增加。近年来,依靠境内丰富的石油资源,大力发展石油开采

业,使地方财政收入大大增加,人民生活水平显著改善,形成了以原油开采为工业龙头,畜牧养殖、经果种植业为两翼,并积极促进红色旅游的多元化县域经济格局。

2 建立指标体系

2.1 遴选指标

20世纪80年代末以来,国内相继出现了一系列针对不同地域尺度范围的生态环境质量评价研究,建立了很多评价指标体系。但对于不同的研究区,这些指标体系并不完全适用。本文首先调查了14篇具有代表性的生态环境质量评价研究文献^[3,7-19]。通过比较指标使用频度,进行初步选定,着重保证指标体系能够全面覆盖影响生态环境质量的各方面要素。其次,对该县基本情况进行了分析。一方面,吴起县于1998年一次性开展退耕还林,实施封山禁牧,经过近10 a的恢复,生态环境质量明显提高,表现在植被覆盖度增加,区域气候改善,自然灾害减少等方面。同时,退耕还林工程规模大,速度快,势必对当地农民及农村经济产生较大影响,而农村劳动力的转移和农村生产方式的转变又对城镇经济及其它社会要素产生间接影响,主要反映在农业产值、农民收入、城镇人口比重等指标的变化。另一方面,近年来该县大力发展了石油产业并积极推行工业反哺政策。随着石油产量稳步攀升,工业产值和地方财政收入不断增加,交通通讯等城市基础设施建设得到更多的投入,医疗教育条件得到很大改善。针对以上特点,再结合专家意见,对指标进一步筛选和调整,最终建立了由社会环境、自然环境和经济环境3个方面组成,包括目标层、准则层、要素层、因子层4个层次,共22个指标的吴起县生态环境质量评价指标体系(见表1)。

2.2 确定权重

指标体系中的各个指标对生态环境质量的影响程度和作用大小不同,需要确定权重。层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)是一种目标决策系统,能将参加评价或决策的复杂而众多的因素归结为层次分明,逻辑性强的系统,然后运用一定的运算方法将众多因素分层次计算^[20],适于分析由相互关联,相互制约的众多因素构成的复杂系统问题^[21]。本文选用层次分析法,并根据各层次内不同指标在当地的实际影响确定其权重值,经一致性检验,结果令人满意(见表1)。

表 1 吴起县生态环境质量评价指标权重值

目标层	准则层		要素层		因子层		权重总排序	作用效果
	内容	权重	内容	权重	内容	权重		
A 吴起县生态环境质量	自然因素 B_1	0.333 4	自然气候 C_1	0.493 4	年均降水 D_1	0.750 0	0.123 4	正
					年均温度 D_2	0.250 0	0.041 1	正
			生态植被 C_2	0.310 8	森林面积 D_3	0.666 7	0.069 2	正
					植被覆盖率 D_4	0.333 3	0.034 5	正
			主要灾害 C_3	0.195 8	灾害大风日数 D_5	0.250 0	0.016 3	负
					平均侵蚀模数 D_6	0.750 0	0.048 9	负
	社会因素 B_2	0.333 3	人口状况 C_4	0.124 1	城镇人口比重 D_7	0.500 0	0.020 7	正
					人口自然增长率 D_8	0.500 0	0.020 7	负
			基础设施 C_5	0.237 9	人均固定电话数 D_9	0.500 0	0.039 6	正
					人均通车道路里程 D_{10}	0.500 0	0.039 6	正
教育医疗 C_6	0.237 9	普通中学在校人数 D_{11}	0.500 0	0.039 6	正			
		万人拥有医疗床位 数 D_{12}	0.500 0	0.039 6	正			
生活水平 C_7	0.400 1	农民人均纯收入 D_{13}	0.500 0	0.066 7	正			
		城镇居民人均工资 D_{14}	0.500 0	0.066 7	正			
经济因素 B_3	0.333 3	土地承载 C_8	0.333 3	人均耕地 D_{15}	0.083 2	0.009 2	正	
				人均粮食产量 D_{16}	0.611 2	0.067 9	正	
				养羊数量 D_{17}	0.305 6	0.033 9	正	
	产业结构 C_9	0.333 3	0.333 3	第二产业占 GDP 比 例 D_{18}	0.500 0	0.055 6	正	
				第三产业占 GDP 比 例 D_{19}	0.500 0	0.055 6	正	
	经济水平 C_{10}	0.333 4	0.333 4	工业总产值 D_{20}	0.195 8	0.021 9	正	
财政总收入 D_{21}				0.310 8	0.034 5	正		
人均国民生产总值 D_{22}				0.493 4	0.054 8	正		

3 生态环境质量评价

评价指标体系中有的指标与生态环境质量呈正向关系(即指标值越大生态环境质量越好),有的指标与生态环境质量呈逆向关系(即指标值越小生态环境质量越好)。为了便于计算和比较,采用极值变换法处理指标原始数据,消除量纲。对与生态环境质量呈正向关系的指标采用 $x'_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \times 100$ 标准化;对与生态环境质量呈逆向关系的指标(越小越好)采用 $x'_i = \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}} \times 100$ 标准化 (x'_i 为第 i 个指

标的无量纲标准值, x_i 为第 i 个指标的原始值, x_{\min} 和 x_{\max} 为第 i 个指标的最小值和最大值)。然后,根据各指标的标准化结果及其权重,采用加权求和计算各年综合评价值,定义为生态环境质量指数(Eco-Environment Quality Index) I_E , 即:

$$I_E = \sum_i (X_i W_i)$$

式中: X_i ——标准化处理后的评价值; W_i ——各项指标对应的权重。

经计算,得到吴起县 1995—2004 年的生态环境质量评价结果,并依据国家及陕西省有关生态环境质量的标准结合专家意见^[22],确定生态环境质量指数

0~30 时生态环境质量为差,30~60 时为较差,60~90 时为良好,>90 时为好,由此获得各年的生态环境质量等级(见表 2)。

由表 2 可以看出,10 a 中,1995—1998 年吴起县的生态环境质量等级为差,自然、社会和经济环境指数几乎都小于 10。其中,1995 年的自然环境指数占生态环境质量综合指数的 63%,而经济环境指数指标仅占 15%,生态环境质量绝对水平低,相对结构不

合理。1999—2001 年的生态环境质量等级为较差,自然、经济、社会环境指数都有所增长。2002—2004 年的生态环境质量等级改善为良好,截止 2004 年时,生态环境质量综合指数达 78.49,自然、社会和经济环境指数分别占 32%,34%和 34%,表现出相对协调和健康的结构。10 a 间,吴起县生态环境从自然、社会和经济 3 个方面都得到了明显的改善,生态环境质量指数呈对数增长(见图 1)。

表 2 吴起县生态环境质量评价结果

年份	自然环境		社会环境		经济环境		生态环境质量综合指数	等级
	质量指数	占综合指数比例/%	质量指数	占综合指数比例/%	质量指数	占综合指数比例/%		
1995	6.58	63	2.35	22	1.52	15	10.45	差
1996	5.86	38	6.51	42	3.06	20	15.43	差
1997	7.43	32	8.49	36	7.49	32	23.41	差
1998	8.92	33	11.37	42	6.93	25	27.22	差
1999	10.21	31	13.54	41	9.33	28	32.08	较差
2000	11.17	27	16.67	41	13.13	32	40.97	较差
2001	16.29	32	19.31	38	15.23	30	50.83	较差
2002	20.15	32	22.79	36	20.18	32	63.12	良好
2003	24.83	35	24.26	34	22.53	31	71.62	良好
2004	25.47	32	26.59	34	26.43	34	78.49	良好

注:表中用于计算的各指标原始数据摘自吴起县统计年鉴 1995—2004 年。

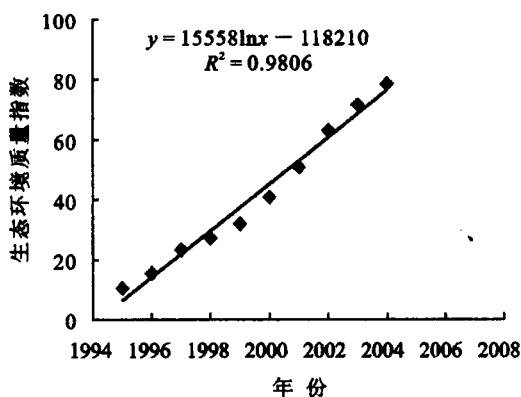


图 1 吴起县生态环境质量变化曲线

4 生态环境质量评价

4.1 自然环境质量评价

10 a 中,自然环境质量指数呈 2 次多项式增长(见图 2)。从图 2 曲线上看,吴起县自然环境质量在 1998 年以前一直处于很低的水平,增长趋势不明显,且年际波动较大,1996 年最低;1999—2001 年,自然

环境质量指数开始呈现平缓增长的趋势。2002 年以后,自然环境质量的生长趋于稳定,且增速较之前有所提高。总体来说,吴起县自然生态环境质量指数的年际变化在 1998 年前后表现出比较明显的差异。

究其原因,吴起县地处黄土高原丘陵沟壑区,气候干旱,植被稀疏,1995 年全县林草覆盖率仅 18.3%,造成严重的水土流失。1995 年全县平均土壤侵蚀模数高达 $1.127 \times 10^4 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,属于严重侵蚀地区。同时,吴起县北部属毛乌素沙地南缘,受风沙危害严重,1998 年以前多年平均最大风速为 13.2 m/s。气候、植被等自然指标都反映出生态脆弱地区的特点。

1998 年全县实施退耕还林及人工封育措施,1999 年全县一次性退耕还林(草)面积达 103 666.7 hm^2 ,占全县总面积的 27.4%,营造起大面积的人工林地和草地,植被覆盖度增加,水土流失和风沙危害得到一定程度的控制,自然生态环境恶化的趋势得到扭转。然而,这个时期的人工林草处于初期生长阶

段,保育土壤及防风固沙等生态效益并不明显,因此自然生态环境质量指数的增长趋势依然比较平缓。

2002—2004 年期间,退耕还林和荒山造林等生态建设所营造的林地逐渐成熟。截至 2004 年,全县林草覆盖率达到 69.8%,土壤侵蚀模数下降为 0.6t/(km²·a),年均最大风速下降为 11.3 m/s,当地的气候和环境大大改善,自然环境质量指数由 1995 年的 6.58 增长为 25.47,增幅近 3 倍,排除气候指标本身存在的自然随机变化,大面积的退耕还林工程提高了植被覆盖度,减少了水土流失,无疑是自然环境改善的主要原因。据研究^[23],目前吴起县的生态资产总价值在陕北黄土高原范围内的 28 个县市名列第四位,说明林业生态建设在当地已经发挥出比较显著的生态效益。

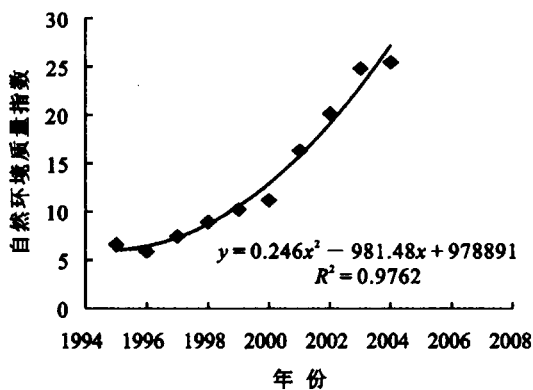


图 2 吴起县自然环境变化曲线

4.2 社会环境质量评价

社会环境质量指数呈线性稳定增长(见图 3)。过去 10 a 中,吴起县人口自然增长率由 1995 年的 8.1%下降为 2004 年的 2.8%,人口增加幅度在国家计划生育政策的大背景下基本保持稳定,社会劳动人口比重和城镇人口比重分别由 1995 年的 39.3%,9.8%上升为 2004 年的 45.1%,13.9%,县域城镇化发展保持平稳增长。同时,农民人均纯收入和城镇居民人均年工资收入分别由 1995 年的 706 元和 332 3 元上升为 2004 年的 1 889 元和 14 383 元,人民收入水平显著提高。在基础建设方面,人均固定电话数,人均通车道路里程,普通中学在校人数,万人拥有医疗床位数等指标较 1995 年都有了很大提高,反映出教育文化、交通医疗条件的稳步改善。总体上,社会环境质量指数在 10 a 间由 2.35 提高到 26.59,增长了近 10 倍。

退耕还林不仅是生态工程,更是一项社会工程,吴起县于 1999 年全县一次性退耕还林 103 666.7 hm²,占全县总面积的 27.4%,涉及 90%以上的农户,工程规模大,涉及人口多,必然直接影响农户生产

生活,进而间接影响农村和城镇的社会发展。但是,评价期间吴起县社会环境质量始终保持稳定增长,所包含的各项指标均未出现大的波动,这在一定程度上说明国家的配套政策和地方的具体措施,确保了退耕农户的基本生活及相关需求,保证了退耕区域社会发展的持续稳定。同时,石油业的发展增加了地方财政,使社会基础设施建设得到更多的投入,实现了工业对于其它行业的反哺。

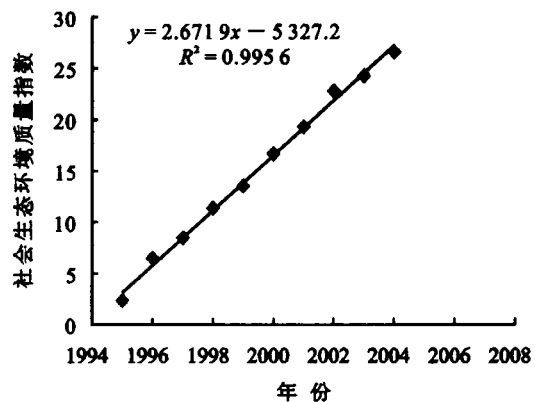


图 3 吴起县社会环境质量变化曲线

4.3 经济环境质量评价

经济环境质量指数呈对数增长(见图 4)。自 20 世纪 90 年代以来,石油开采业为吴起县地方经济的快速发展注入了动力,10 a 间,当地原油产量不断攀升,2004 年的产量达到 1.05×10^6 t,全县实现工业总产值 1.28×10^9 元,地方财政总收入由 1995 年的 3.00×10^7 元增加为 2004 年的 3.30×10^8 元,增幅达 10 倍。作为工业龙头和地方财政的主要支柱,石油开采业的稳定发展在很大程度上保证了经济环境质量指数增长的整体趋势。而 1998 年全县范围开展退耕还林,封山禁牧,使当年人均耕地面积和粮食产量有所下降,放养羊只数量大幅度减少,全县羊只存栏数由 1995 年 1.91×10^5 只减少为 1998 年的 1.6×10^4 只,农业对当年的经济贡献降低,造成经济环境质量指数在 1998 年略有减小,出现波动。随后的几年内,当地政府大力开展基本农田建设,推动舍饲圈养,使农业和畜牧业较之前有了更快的发展速度和更大的发展规模。

截止 2004 年,吴起县虽然人均耕地从 1995 年的 $2.73 \text{ hm}^2/\text{人}$ 减少为 2004 年的 $1.59 \text{ hm}^2/\text{人}$,但是人均粮食产量却从 1995 年的 $247.8 \text{ kg}/\text{人}$ 提高为 2004 年的 $358.9 \text{ kg}/\text{人}$ 。同时,退耕还林(草)工程解放了农村劳动力,配套发展的草饲料生产加工工业,提供了更多就业岗位,更多的退耕农户开始外出务工,改变了单纯依靠传统耕作的一元农村经济结构,转变了农村和农民的传统生活模式。劳动力的增加和城乡经

济交流的更加频繁,有力地促进了各行业的全面发展,二、三产业占GDP比重分别由1995年的24.4%和19.1%增加为2004年的53.7%和26.4%,因此经济环境质量指数在1998年略有波动之后很快又开始逐年稳步增长,且增长速度较1998年以前略有提高。

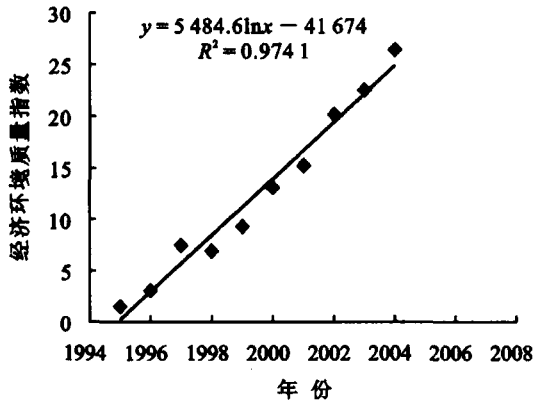


图4 吴起县经济环境质量变化曲线

5 结论

(1) 1995—2004年间,吴起县生态环境质量不断改善,生态环境质量等级从1995年的差提高为2004年的良好

(2) 1995—2004年间,吴起县自然环境质量的变化大致分为3个阶段。1998年以前自然环境质量处于很低的水平,等级皆为差,年际间波动较大;1999—2001年,自然环境质量开始缓慢改善;2002年以后,自然环境质量的改善速度较之前有所提高,改善趋势相对稳定。自然环境质量的改善,说明退耕还林等林业工程在当地已经发挥出明显的生态效益。为了持续提高自然环境质量,当地今后还需加强幼林的抚育管理,促进人工生态系统的稳定恢复。

(3) 1995—2004年间,吴起县教育文化、交通医疗等基础条件得到稳步改善,城镇化水平平稳提高,社会环境质量指数呈线性稳定增长。这主要依赖于石油开采业的发展和地方政府有效推行工业反哺的政策。同时,也在一定程度上说明,虽然吴起县退耕还林的工程规模大,涉及人口多,势必直接影响农户生产生活,进而间接影响农村和城镇的社会发展,但国家的配套政策和地方的具体措施,确保了退耕农户的基本生活及相关需求,保证了退耕区域社会发展的持续稳定。

(5) 1995—2004年间,吴起县经济环境质量指数呈对数增长。除在1998年,由于全县范围开展的退耕还林和封山禁牧,使当年人均耕地面积和粮食产量有所下降,放养羊只数量大幅减少,农业对当年的经济贡献降低,造成当年的经济环境指数略有减小以

外,依靠着石油产量的不断攀升,工业产值和地方财政逐年增长,使经济环境质量总体呈现稳定提高的趋势。为保证经济持续地健康增长,今后需要更多地促进其它行业的发展,使经济结构更加合理。

(6) 生态环境综合质量受多种因素共同影响,属于灰色系统。有限的评价指标不能全面、完整地体现其变化过程。但是,通过建立有针对性的指标体系,可以反映生态环境变化的总体趋势和主要特征。一定区域内生态环境综合质量的提高,需要自然、社会和经济各方面的合理规划和协调发展。

[参考文献]

- [1] 王思远,张增祥,赵晓丽,等. 遥感与GIS技术支持下的湖北省生态环境综合分析[J]. 地球科学进展, 2002, 17(3): 426—431.
- [2] 徐燕,周华荣. 初论我国生态环境质量评价研究进展[J]. 干旱区地理, 2003, 26(2): 166—167.
- [3] 邵波,陈兴鹏. 甘肃省生态环境质量综合评价的AHP分析[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(4): 29—32.
- [4] 赵顺阳,王文科,乔冈,等. 艾比湖流域生态环境质量评价[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(5): 63—67.
- [5] 黄国胜,王雪军,孙玉军,等. 河北山区森林生态环境质量评价[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(5): 75—80.
- [6] 何池全,崔保山,赵志春. 吉林省典型湿地生态评价[J]. 应用生态学报, 2001, 12(5): 754—756.
- [7] 姜玲玲,林年丰,唐晓慧,等. 吉林西部生态环境研究及质量评价[J]. 干旱区研究, 2005, 22(2): 246—250.
- [8] 杨新,延军平. 陕甘宁老区脆弱生态环境定量评价[J]. 干旱区资源与环境, 2002, 16(4): 87—90.
- [9] 武永峰,任志远. 陕西省脆弱生态环境定量评价研究. 干旱区资源与环境, 2002, 16(2): 10—14.
- [10] 秦建成,高明. 三峡低山丘陵区生态系统安全评价. 山地学报, 2004, 22(1): 73—78.
- [11] 杨秀春,朱晓华,谢志仁. 徐州市生态环境质量动态评价与整治研究. 城市环境与城市生态, 2002, 15(6): 8—10.
- [12] 谢志仁,刘庄. 江苏省区域生态环境综合评价研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2001, 11(3): 85—88.
- [13] 刘振波,赵军,倪绍祥. 绿洲生态环境质量评价指标体系研究:以张掖市绿洲为例[J]. 干旱区地理, 2004, 27(4): 580—585.
- [14] 王平,马立平,李开. 南京市城市生态环境质量评价体系[J]. 生态学杂志, 2006, 25(1): 60—63.
- [15] 曹广超,马海州,曾永年,等. 柴达木盆地绿洲区可持续发展现状的定量评价研究[J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17(3): 28—34.
- [16] 陶希东,赵鸿婕. 河西走廊生态脆弱性评价及其恢复与重建[J]. 干旱区研究, 2002, 19(4): 7—12.

(下转第125页)

3 结论

利用支持向量机回归和主成分分析方法,确定了影响次降雨小流域侵蚀产沙主控因子,建立了向量机回归支持下的小流域次降雨侵蚀产沙预报模型。

(1) 小流域次降雨侵蚀产沙量与次径流深、30 min 最大降雨强度以及次降雨量呈非线性关系。结合主成分分析和向量机回归分析方法,确定了影响小流域次降雨侵蚀产沙量的主控因子为混水径流深、最大洪峰流量、降雨量和 30 min 最大降雨强度。

(2) 建立了向量机回归支持下的小流域次降雨侵蚀产沙预报模型,即

$$A = R_1^{8.423} R_2^{9.17} R_3^{7.998} R_4^{3.718} R_5^{3.286} R_6^{8.454} - 9.07634$$

(3) 基于 60 次实测侵蚀产沙资料对模型的预测精度进行分析,结果表明模型具有较好的预测精度,显示出支持向量回归在解决高维非线性问题方面具有较好的预测精度,有效避免了神经网络易陷入的局部极值问题。同时通过非线性变换和核函数 φ 解决了高维数问题,使其算法复杂度与样本维数无关,为次降雨土壤侵蚀产沙规律研究提供了新的方法和手段。

(4) 影响流域次降雨侵蚀产沙量的因素众多,除了本文涉及的因素外,尚有植被因子、土壤和水土保持措施因子等。因此,在今后的工作中如何选择适当的参数对模型进行训练和提高模型的预测准确度仍需做大量的工作。

[参 考 文 献]

[1] 牟金泽,孟庆枚. 降雨侵蚀土壤流失预报方程的初步研

究[J]. 中国水土保持, 1983 (6): 23—27.

- [2] 金争平,史培军. 黄河皇甫川流域土壤侵蚀系统模型和治理模式[M]. 北京:海洋出版社, 1992.
- [3] 张宪奎,许靖华,卢秀琴,等. 黑龙江省土壤流失方程的研究[J]. 水土保持通报, 1992,12 (4): 1—9.
- [4] 周伏建,陈明华,林福兴,等. 福建省水土流失预报研究[J]. 水土保持学报, 1995,9 (1):25—30, 36.
- [5] 杨子生. 滇东北山区坡耕地土壤流失方程研究[J]. 水土保持通报, 1999,19 (1):1—9.
- [6] 唐克丽. 中国水土保持[M]. 北京:科学出版社, 2004.
- [7] 郑粉莉,王占礼,等. 我国水蚀预报模型研究的现状、挑战与任务[J]. 中国水土保持科学, 2005,3(1):7—14.
- [8] 尚金成,刘鑫卿,张勇传,等. 基于多层神经网络的随机自适应径流预报模型[J]. 水电能源科学, 1995, 13 (1):52—56.
- [9] 张小峰,许全喜,裴莹. 流域产流产沙 BP 网络预报模型的初步研究[J]. 水科学进展, 2001,12(1):17—22.
- [10] 王协康,方锋,等. 土壤侵蚀产沙量的人工神经网络模拟[J]. 成都理工学院学报, 2000,27(2):197—201.
- [11] Vapnik V, Golowich S, Smola A. Support vector method for function approximation, regression estimation, and signal processing [A]// Mozer M, Jordan M, Petsche T. Neural Information Processing Systems [M]. MIT Press, 1997.
- [12] UThissen, Rvan Brakel. Using support vector machines for times series prediction[J]. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. 2003, 69:35—49.
- [13] Vapnik V N. The Nature of Statistical Learning Theory[M]. New York:Springer—Verlag, 1995.

(上接第 107 页)

- [17] 魏国孝,马金珠,赵华,等. 甘肃省生态环境综合评价指标体系研究[J]. 干旱区资源与环境, 2004,18(8):7—11.
- [18] 芦彩梅,郝永红. 山西省区域生态环境质量综合评价研究[J]. 水土保持通报, 2004,24(5):71—73.
- [19] 张明军,孙美平,姚晓军. 基于 GIS 与 SPSS 的甘肃省县域可持续发展规划[J]. 干旱区研究, 2007, 24(4): 563—567.

- [20] 沈君,高志刚. 基于层次分析法的新疆尉犁县域可持续发展评价[J]. 干旱区研究, 2005,22(2):279—283.
- [21] Saaty T L. The analytic hierarchy process[M]. New York:Mcgraw—Hill, 1980.
- [22] 国家环境保护总局,全国生态示范区建设试点工作领导小组. 生态环境考核标准选编[S]. 北京:中国环境科学出版社, 1999.
- [23] 李晶,任志远. 陕北黄土高原生态资产与区域生态安全程度研究[J]. 干旱区研究, 2007,24(3):369—374.