

基于熵值法和灰色预测模型的土地生态系统健康评价

孟展^{1,2}, 张锐¹, 刘友兆¹, 钱旭³

(1. 南京农业大学 公共管理学院, 江苏 南京 210095;

2. 江苏省地产发展中心, 江苏 南京 210017; 3. 江苏省土地学会, 江苏 南京 210017)

摘要: 在界定土地生态系统健康内涵的基础上, 构建了基于“压力—状态—响应”(PSR)模型的评价指标体系, 采用熵值法和灰色预测模型, 对四川省土地生态系统健康状况进行了评价。研究结果表明: (1) 1999—2010年四川省土地生态系统健康水平总体不断提高, 综合指数从0.4813增加到0.6372, 健康等级经历了“临界状态—亚健康”的演变过程; (2) 压力指数和状态指数总体上呈现下降趋势, 响应指数总体上呈现上升趋势; (3) 人均耕地面积、土地垦殖率、水土流失程度、单位耕地化肥负荷、单位耕地农药负荷等是土地生态系统健康等级提升的关键制约因素; (4) 2011—2015年四川省土地生态系统健康水平呈现稳步上升趋势, 年均增长率为2.86%。

关键词: 土地生态系统健康; 灰色预测模型; 熵值法; “压力—状态—响应”(PSR)模型

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)04-0226-06

中图分类号: F301.24

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.04.058

Evaluation of Land Ecosystem Health Based on Entropy Method and Grey Prediction Model

MENG Zhan^{1,2}, ZHANG Rui¹, LIU You-zhao¹, QIAN Xu³

(1. College of Public Administration, Nanjing Agricultural University, Nanjing,

Jiangsu 210095, China; 2. Jiangsu Real Estate Development Center, Nanjing, Jiangsu

210017, China; 3. The Land Science Society of Jiangsu Province, Nanjing, Jiangsu 210017, China)

Abstract: On the basis of defining the meaning of land ecosystem health, the evaluation index system for land ecosystem health was constructed based on the PSR (press—state—response) model, then an empirical analysis was conducted in Sichuan Province by entropy method and grey prediction model. The results showed that: (1) The level of land ecosystem health had been gradually improved in Sichuan Province from 1999 to 2010, with the index increasing from 0.4813 to 0.6372. The degree of land ecosystem health generally experienced two stages, i. e., critical state and sub-health. (2) The pressure index and status index showed a downward trend, while response index, a rising trend. (3) The cultivated land per capita, land reclamation rate, extent of soil erosion, the pesticide load and fertilizer load per unit of cultivated land were verified to be the key constraints for further improvement of land ecosystem health. (4) The level of land ecosystem health showed a steady upward trend in Sichuan Province from 2011 to 2015, and the average annual growth rate reached 2.86%.

Keywords: land ecosystem health; grey prediction model; entropy method; PSR (press—state—response) model

伴随着经济社会的快速发展, 工业化、城镇化和现代化建设进程快速推进, 导致土地生态环境日趋恶化、土地污染负荷加重、土地质量下降等一系列问题, 土地生态系统健康面临一定威胁^[1]。因此, 开展土地生态系统健康研究, 优化土地生态系统健康的改善途径, 提高土地生态系统健康水平, 对于加强生态文明

建设, 保障我国生态安全, 促进社会经济可持续发展具有非常重要的理论意义和现实意义。

目前关于土地生态系统健康的研究主要集中在土地生态系统健康内涵、土地生态系统健康机理、土地生态系统健康评价以及土地生态系统健康管理等几个方面^[2-7]。总体来看, 土地生态系统健康评价研

收稿日期: 2013-11-07

修回日期: 2014-01-06

资助项目: 国家自然科学基金项目“农村居民点整理对农户土地利用变化影响研究”(71173112); 江苏省国土资源科技项目(201320)

作者简介: 孟展(1978—), 男(汉族), 江苏省盐城市人, 博士研究生, 研究方向为土地可持续利用与土地资源评价。E-mail: zhwmzhan@163.com。

通信作者: 刘友兆(1959—), 男(汉族), 江苏省淮安市人, 教授, 博士生导师, 主要从事土地可持续利用与土地资源评价研究。E-mail: yzliu@njau.edu.cn。

究尚属起步阶段,定性分析相对较多,定量研究较少;评价指标多集中于资源与环境状况,很少综合考虑人类活动、社会经济等对系统健康评价的影响;评价方法主要采用主观确定评价指标权重与某一时间点的静态评价,缺少对土地生态系统健康动态发展的研究。因此,本研究在界定土地生态系统健康内涵的基础上,构建了基于PSR模型的土地生态系统健康评价指标体系,运用熵权系数模型、灰色预测模型对土地生态系统健康动态评价进行实证研究,诊断土地生态系统健康的障碍因子,以期土地生态系统实施可持续性管理和合理利用提供依据。

1 研究方法

1.1 指标体系的构建

土地生态系统是由一定区域的土壤、岩石、水文、植被、土壤、气候等环境要素所组成的具有一定结构与功能的综合系统^[5,7]。土地生态系统健康主要包括两个方面的含义,一是土地生态系统在人类利用土地资源过程中,自身结构合理,功能得到正常发挥;二是土地生态系统对人类健康,即土地生态系统所产生的综合效益能够满足人类的需要^[2,8]。土地生态系统健康评价是以整个土地生态系统为评价对象,对特定时刻、特定区域的自然生态要素和社会经济要素进

行的综合评价,诊断由人类活动与自然因素引起的系统破坏与退化程度,以便为管理者提供决策^[8-9]。

PSR概念模型是由联合国OECD和UNEP提出的^[10-11],该模型以因果关系为基础,主要目的是评价生态系统的持续性,分析生态系统内在的因果关系,寻找人类活动与生态环境影响之间的因果链(从生态系统面临的压力出发,探讨生态系统的结构与功能,制定缓解生态系统压力的政策措施),得到较为普遍的认可与应用^[12-13]。因此,本研究借鉴PSR概念模型作为土地生态系统健康评价指标体系的基本框架:人口增长、社会经济发展给土地生态系统带来巨大的压力(P);人类不断开发资源,通过社会经济活动向土地生态系统排放污染,改变了土地生态系统结构与功能状态(S);压力之下,土地生态系统在原有状态基础上做出反应,同时反馈于社会经济的发展过程;人类对土地生态系统的反馈进一步做出响应(R),进行政策调整、环境保护等,改善土地生态系统状态,使之保持良好的结构与功能,进而实现可持续发展^[9,13-14]。

因此,本研究从土地生态系统健康内涵、PSR概念模型出发,遵循指标选取的科学性、可获取性、系统性和可比性等原则,在参考相关文献的基础上^[4-9],构建了土地生态系统健康评价指标体系(表1)。

表1 土地生态系统健康评价指标体系及其标准值

准则层	指标层	评价函数	健康值	病态值
压力	x_1 人口密度/(人·km ⁻²)	总人口除以土地总面积	150	800
	x_2 人口自然增长率/%	—	2	25
	x_3 城市化水平/%	非农业人口除以总人口	70	10
	x_4 单位耕地化肥负荷/(kg·hm ⁻²)	化肥施用量除以耕地面积	225	800
	x_5 人均耕地面积(hm ² /人)	耕地面积除以总人口	0.100	0.053
	x_6 单位耕地农药负荷/(kg·hm ⁻²)	农药施用量除以耕地面积	3	24
	x_7 固定资产投资年增长率/%	当年固定资产投资除以前一年固定资产投资减1	5	30
	x_8 建设用地比例/%	建设用地规模除以土地总面积	3	18
状态	x_9 人均水资源量(m ³ /人)	—	3 100	1 200
	x_{10} 土地垦殖率/%	耕地面积除以土地总面积	30	10
	x_{11} 耕地粮食单产/(kg·hm ⁻²)	粮食总产除以耕地面积	9 000	2 000
	x_{12} 灾害指数/%	成灾面积除以农作物播种面积	0.65	35
	x_{13} 水土流失程度/%	水土流失面积除以土地总面积	15	60
	x_{14} 森林覆盖率/%	—	40	10
	x_{15} 人均建设用地(m ² /人)	建设用地面积除以总人口	150	210
响应	x_{16} 农民人均纯收入(元/人)	—	5 500	1 500
	x_{17} 有效灌溉面积比/%	有效灌溉面积除以耕地面积	75	40
	x_{18} 单位耕地农业机械动力/(kW·hm ⁻²)	农业机械动力除以耕地面积	8	2
	x_{19} 教育投资强度/%	教育投资量除以财政支出总量	30	5
	x_{20} 水土流失治理率/%	水土流失治理面积除以水土流失面积	60	10
	x_{21} 工业废水排放达标率/%	达标工业废水排放量除以工业废水总排放量	95	50
	x_{22} 生活污水治理率/%	生活污水治理量除以生活污水排放量	85	35
	x_{23} 工业固体废物综合利用率/%	工业固体废物综合利用率除以工业固体废物产生量	85	45

1.2 评价模型建立

1.2.1 标准化处理 为了统一各评价指标的单位与量纲,采用极差法^[9,15]对数据标准化处理,具体计算公式为:

(1) 正向作用指标:

$$X_{ij}' = (X_{ij} - \min X_j) / (\max X_j - \min X_j) \quad (1)$$

(2) 负向作用指标:

$$X_{ij}' = (\max X_j - X_{ij}) / (\max X_j - \min X_j) \quad (2)$$

式中: X_{ij} , X_{ij}' ——第 i 年第 j 项指标的原始值和标准化值; $\max X_j$, $\min X_j$ ——第 j 项指标的标准最大值和标准最小值。标准值(健康值、病态值)的确定主要参考国家、地方、行业及国际相关标准,研究区域本底背景值,全国平均水平等^[7,12,14]。

1.2.2 指标权重的确定 土地生态系统健康评价是一个多指标定量综合评价的过程,指标权重确定具有举足轻重的地位,将直接关系到土地生态系统健康评价结果的准确性^[9]。为了避免人为因素的影响,使评价指标权重确定更加具有科学性,采用客观赋权法中的熵值法来确定指标权重。熵值法根据评价指标变异程度的大小来确定指标权重,指标变异程度越大,信息熵越少,该指标权重值就越大,反之越小^[16]。在熵值法的计算过程中,运用了对数和熵的概念,根据相应的约束规则,负值和极值不能直接参与运算,应对其进行一定的变换,即应该对熵值法进行一些必要的改进;改进的办法主要有两种:功效系数法和标准化变换法,本研究采用标准化变换法对熵值法进行改进^[17]。用改进的熵值法确立评价指标权重^[16-17]。

(1) 评价指标标准化处理。由于不同的指标具有不同的量纲和单位,为了消除量纲和量纲单位的不同所带来的不可公度性,需要对指标数据用标准化法进行变换:

$$X_{ij}'' = (X_{ij} - \bar{X}_j) / s_j \quad (3)$$

$(i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$

式中: X_{ij}'' ——标准化后的指标值; \bar{X}_j ——第 j 项指标的均值; s_j ——第 j 项指标的标准差。

(2) 为了清除负数,进行坐标平移。

$$X_{ij}''' = H + X_{ij}'' \quad (4)$$

式中: X_{ij}''' ——平移后的指标值; H ——指标平移的幅度。

(3) 计算第 j 项指标下的 i 个样本值的比重:

$$P_{ij} = X_{ij}''' / \sum_{i=1}^m X_{ij}'''$$

(4) 计算第 j 项指标的熵值 e_j 。

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln(P_{ij})$$

其中, $k > 0, e_j > 0$ 。如果 X_{ij}''' 对于给定的 j 全部相等,那么,

$$P_{ij} = X_{ij}''' / \sum_{i=1}^m X_{ij}''' = 1/m$$

此时 e_j 取极大值,即 $e_j - k \sum_{i=1}^m \frac{1}{m} \ln \frac{1}{m} = k \ln m$ 。若

设 $k = 1/\ln m, e_j = 1$, 所以 $0 < e_j < 1$ 。

(5) 计算第 j 项指标的差异性系数 g_j 。

$$g_j = 1 - e_j$$

(6) 定义第 j 项指标的权重 w_{ij} 。

$$w_{ij} = g_j / \sum_{i=1}^m g_j \quad (j=1, 2, \dots, n)$$

1.2.3 计算综合指数 采用综合指数模型对土地生态系统健康进行综合评价,综合指数模型^[1]的表达式为:

$$F = \sum_{i=1}^3 w_i \cdot \left(\sum_{j=1}^n X_{ij}' \cdot w_{ij} \right) \quad (5)$$

式中: F ——土地生态系统健康综合指数; w_i ——第 i 子系统权重; w_{ij} ——第 i 子系统第 j 项指标权重; n ——第 i 子系统所包含的指标数。 F 越接近 1,表示土地生态系统健康状况越好。在借鉴国内外生态系统健康等级划分的基础上^[2,9],将土地生态系统健康级别分为:病态、不健康、临界状态、亚健康和健康 5 个等级(表 2)。

表 2 土地生态系统健康分级标准

综合指数	0.8~1.0	0.6~0.8	0.4~0.6	0.2~0.4	0~0.2
等级	健康	亚健康	临界状态	不健康	病态

1.3 灰色预测模型

灰色系统理论是由邓聚龙^[18]于 1982 年提出并加以发展的,它是研究解决灰色系统分析、建模、预测、决策和控制的理论;灰色预测模型是对灰色系统所做的预测,它是通过少量的、不完全的信息,建立数学模型并做出预测的一种预测方法。灰色预测模型 GM(1,1)的建模步骤为^[19-20]:

(1) 收集原始数据形成数列 $x^{(0)}$,对原始数列作一次累加生成处理,得到一个新的数列 $x^{(1)}$;

(2) 将 $x^{(1)}$ 的变化趋势近似地用微分方程描述:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u \quad (6)$$

式中: a, u ——辨识参数,二者可以通过最小二乘法拟合得到。

(3) 构造矩阵 B, Y_N , 计算 $\tilde{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N = [a, u]^T$

(4) 求出预测模型:

$$x^{(1)}(t+1) = [x^{(0)}(1) - \frac{u}{a}]e^{-at} + \frac{u}{a} \quad (7)$$

(5) 进行精度检验(残差检验、后验差检验), 检验过程具体参见文献[20]。一般来说, GM(1,1)模型的检验通过后验差检验即对残差分布的统计特性来判断效果, 通过方差比 C 和小残差概率 P 的值来判断^[21](表 3)。若检验结果可用, 则可利用灰色预测模型 GM(1,1)进行预测; 否则, 建立残差模型对其进行修正。

表 3 后验差检验判别参照标准

检验指标	优	合格	勉强合格	不合格
小残差概率 P	>0.95	>0.80	>0.70	<0.70
方差比 C	<0.35	<0.50	<0.65	>0.65

2 实证分析:以四川省为例

2.1 区域概况与数据来源

四川省地处长江上游, 东与重庆市接壤, 南与云南、贵州省相连, 西邻西藏自治区, 北接青海、甘肃、陕西省。辖区东西长约 1 075 km, 南北宽约 921 km, 幅员面积 $4.85 \times 10^5 \text{ km}^2$, 为我国第 5 大省区, 现辖 18 个地级市和 3 个自治州。四川省资源丰富, 光热条件好, 是我国重要的农业经济区和粮食主产区; 然而随着经济社会的发展, 建设用地规模持续扩张, 耕地资源数量锐减, 土地生态功能减弱, 水土流失严重, 土壤污染加剧, 土地生态系统健康状况亟待改善^[9]。

土地生态系统健康评价指标数据主要来源于《四川统计年鉴(2000—2011年)》,《四川农村统计年鉴(2000—2011年)》,《中国统计年鉴(2000—2011年)》,《中国农村统计年鉴(2000—2011年)》,《中国农业年鉴(2000—2011年)》和四川省土地利用变更调查数据。

2.2 结果分析

收集四川省有关土地生态系统健康的评价指标数据, 经分析整理后, 按照改进的熵值法确定各评价指标的权重(表 4)。根据前文提供的研究方法, 得到四川省土地生态系统健康的综合评价结果以及分类指标评价结果(图 1)。

2.2.1 综合评价结果 对 1999—2010 年土地生态系统健康综合指数变化走势分析表明, 四川省土地生态系统健康水平总体处于改善上升趋势, 土地生态系统健康状况将会得到进一步改善。四川省土地生态

系统健康综合指数由 1999 年的 0.481 3 上升到 2010 年的 0.637 2, 土地生态系统健康状况不断好转, 年均增长率达到 2.94%, 表明土地生态系统健康水平不断提高。根据土地生态系统健康分级标准(表 2), 四川省土地生态系统健康等级由“临界状态”转变为“亚健康”。研究发现, 1999 年以来四川省经济社会持续发展, 人们收入水平不断提高, 生态保护意识不断加强; 单位耕地面积农业机械动力有效增加, 耕地粮食单产持续提高; 不断加强生态环境保护建设, 加大了对废水、废气污染的控制力度, 有效加强水土流失治理, 水土流失治理率持续增加, 促进了土地生态系统健康状况改善, 提高了土地生态系统健康水平。

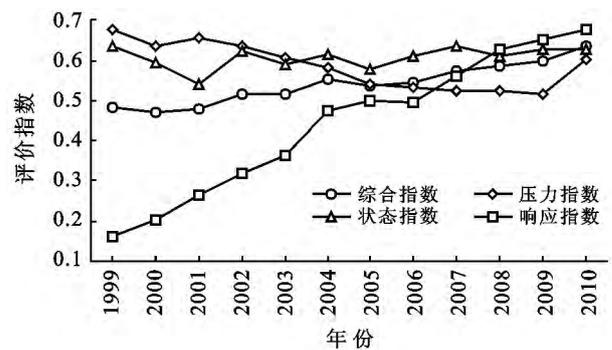


图 1 四川省土地生态系统健康评价结果

表 4 四川省土地生态系统健康评价指标及其权重

目标层	准则层(权重)	指标层(权重)
土地生态系统健康	系统压力 (0.333 9)	x_1 (0.124 2)
		x_2 (0.113 1)
		x_3 (0.130 0)
		x_4 (0.129 9)
		x_5 (0.123 2)
		x_6 (0.131 9)
		x_7 (0.117 7)
	系统状态 (0.310 4)	x_8 (0.130 0)
		x_9 (0.119 5)
		x_{10} (0.130 0)
		x_{11} (0.160 7)
		x_{12} (0.130 4)
		x_{13} (0.142 8)
	系统响应 (0.355 7)	x_{14} (0.138 2)
		x_{15} (0.178 4)
x_{16} (0.112 1)		
x_{17} (0.138 7)		
x_{18} (0.117 2)		
		x_{19} (0.114 9)
		x_{20} (0.122 6)
		x_{21} (0.137 3)
		x_{22} (0.125 0)
		x_{23} (0.132 2)

但 2010 年土地生态系统健康水平不高,有待于进一步改善四川省土地生态系统健康状况。分析结果表明,目前四川省土地生态系统健康的制约因素主要包括人均耕地面积、土地垦殖率、水土流失程度、单位耕地化肥负荷、单位耕地农药负荷、人均建设用地等。虽然四川省一直致力于水土流失的综合治理,但由于易水土流失区域较大,且存在反复的现象,目前水土流失程度仍较大,还需加大治理力度,有效保护土地资源。随着经济社会的发展,固定资产投资增长速度明显提升,国内生产总值持续增长,但这种高速增长是以资源高消耗为代价的,建设用地规模不断扩大,耕地面积持续减少,土地集约利用水平较低。与此同时,单位面积耕地农药施用量、单位面积耕地化肥施用量不断增加,制约了土地生态系统健康水平。

2.2.2 分类指标对比 1999—2010 年压力指数总体上呈现下降趋势,从 0.678 1 下降到 2010 年的 0.601 9,表明土地生态系统的压力现状有所恶化(负向指标,数值越小,生态压力相对越大)^[9],人类对土地生态系统的干扰有所强化。根据曲线的形状可以将压力指数的变化分为 4 个阶段,第 1 阶段(1999—2000 年):压力指数下降幅度较大,递减率为 6.33%;第 2 阶段(2000—2001 年)压力指数缓慢上升,增长率为 3.04%;第 3 阶段(2001—2009 年):压力指数缓慢下降,递减率为 2.64%;第 4 阶段(2009—2010 年):压力指数上升幅度较大,增长率为 16.62%。由此可见,随着经济社会的不断发展,土地生态系统的压力不断增加,但近年来压力有所缓解。

研究期间状态指数呈波动下降趋势,2010 年状态指数是 1999 年的 0.99 倍,下降幅度相对较小。除 2006 年以外,其它年份的响应指数均逐年增大,发展水平迅速提高,2010 年响应指数是 1999 年的 4.22 倍,年均增长率为 29.24%。由图 1 可知,1999—2005 年响应指数增长幅度较大,年均增长率为 35.00%,它的提高有利于土地生态系统健康状况的改善;2006—2008 年响应指数增长幅度较小,年均增长率仅为 9.26%。

2.2.3 模型预测结果 以图 1 中 1999—2010 年的土地生态系统健康综合指数作为原始数据,构成数列,对原始数列作一次累加生成处理,得到一个新的数列 $x^{(1)}$,构造矩阵 B, Y_N :

根据公式 $\tilde{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N = [a, u]^T$,求得 $\tilde{a} = [-0.0271, 0.4558]^T$,将 \tilde{a} 带入响应函数得到预测模型:

$$x^{(1)}(t+1) = 17.3091 \cdot e^{0.0271t} - 16.8278$$

$$B = \begin{bmatrix} -0.7156 & 1 \\ -1.1902 & 1 \\ -1.6891 & 1 \\ -2.2048 & 1 \\ -2.7390 & 1 \\ -3.2847 & 1 \\ -3.8251 & 1 \\ -4.3827 & 1 \\ -4.9618 & 1 \\ -5.5539 & 1 \\ -6.1715 & 1 \end{bmatrix} \quad Y_N = \begin{bmatrix} 0.4686 \\ 0.4806 \\ 0.5171 \\ 0.5144 \\ 0.5538 \\ 0.5376 \\ 0.5432 \\ 0.5719 \\ 0.5862 \\ 0.5980 \\ 0.6372 \end{bmatrix}$$

根据 GM(1,1) 模型的建立思路,预测四川省 1999—2010 年土地生态系统健康综合指数,预测模型的平均相对误差百分比为 1.625 2%,不超过 5%,说明预测模型精度高;其次,预测模型的方差比 $C = 0.2270$,小残差概率 $P = 1$,都落在模型精度检验精度“优”范围,所以判断所建预测模型效果很好^[21]。运用 GM(1,1) 模型对四川省 2011—2015 年土地生态系统健康综合指数进行预测计算,结果如图 2 所示。GM(1,1) 模型是基于灰色累加生成序列的方法上建立的,在预测结果上表现出较强的规律性,适合于短期内系统变动趋势关联度预测^[18-19]。由图 2 可见,1999—2010 年四川省土地生态系统健康综合指数曲线与 GM(1,1) 模型预测综合指数曲线基本吻合,2011—2015 年四川省土地生态系统健康水平呈现稳步上升趋势,年均增长率为 2.86%。

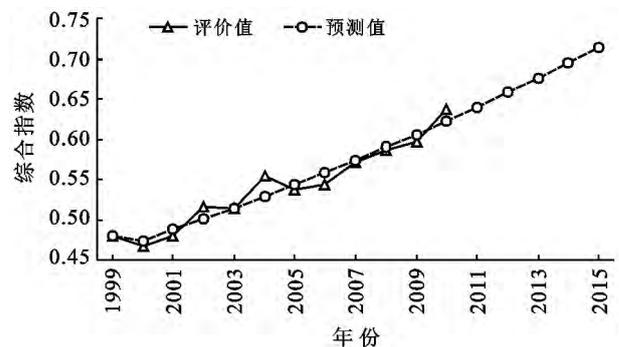


图 2 四川省土地生态系统健康评价及预测

3 结论

(1) 研究结果表明,1999 年以来四川省土地生态系统健康水平总体不断提高,2010 年土地生态系统健康综合指数是 1999 年的 1.32 倍,且等级由 1999 年的“临界状态”转变为 2010 年的“亚健康”;压力指数和状态指数总体上呈现下降趋势,响应指数总体上呈现上升趋势;土地生态系统健康的制约因素主要包

括人均耕地面积、土地垦殖率、水土流失程度、单位耕地化肥负荷、单位耕地农药负荷等;从2011—2015年的土地生态系统健康综合指数预测结果来看,今后几年四川省土地生态系统健康发展保持良好态势。

(2) 为了促进土地生态系统健康水平不断提升,进一步转变经济发展方式,推动经济结构战略性调整,优化产业升级布局,加强土地利用监督管理,有效增加土地利用集约度,降低经济增长对土地资源的过度消耗;大力发展绿色农业,加快推进农业科技创新,合理施用农药、化肥,减少对土地资源的污染;积极开展农村土地整治,加强高标准基本农田建设,增加有效耕地资源面积;持续增加环境保护投入,加大环境治理力度,有效控制水土流失程度。

(3) 通过对1999—2010年四川省土地生态系统健康评价的实证分析表明,PSR模型以因果关系为基础,综合考虑人类活动、社会经济、资源环境之间的相互关系,改变现有研究主要关注资源环境的状况,能更准确地反映土地生态系统、社会经济发展目标与管理决策之间的相互依存、相互制约的关系;基于PSR模型的评价指标体系能够实现对土地生态系统健康的综合评价。

(4) 传统综合评价中,缺少对土地生态系统健康动态发展的研究,而以熵权综合评价为基础的GM(1,1)灰色预测模型对土地生态系统健康进行动态评价,能够得到更客观、更全面的评价结果;熵值法根据评价指标间的离散程度,用信息熵来确定指标的权重,可以克服一些主观赋值法所带来的结果不稳定的现象,在一定程度上改善和提高了综合评价的质量;灰色预测模型GM(1,1)的数据量要求较小,预测模型精度较高,具有较强的实用性和有效性,是比较理想的预测方法;熵值法与灰色预测模型适用于土地生态系统健康的动态评价,有利于提高土地生态系统健康水平。

(5) 本研究作为一种研究方法的探讨,构建了基于PSR模型的土地生态系统健康评价指标体系,尝试性地将熵值法和灰色预测模型运用到土地生态系统健康评价中,基本达到预期的研究目的。由于此类研究尚不多,土地生态系统健康评价的指标选择、评价标准的确定等问题有待进一步深入研究。

[参 考 文 献]

- [1] 孙丕苓,杨海娟,刘庆果.南水北调重要水源地的土地生态安全动态研究[J].自然资源学报,2012,27(9):1520-1530.
- [2] 张继权,邹桃红,路兴昌,等.模糊综合评判在土地生态系统健康评价中的应用[J].科技导报,2011,29(19):34-39.
- [3] Leopold A. Wilderness as a land laboratory[J]. Living Wilderness, 1941,6(7):2-3.
- [4] Benites J R. Land and Water Development Division[M]. Rome: FAO, 1996.
- [5] 陈美球,刘桃菊,黄靓.土地生态系统健康研究的主要内容及面临的问题[J].生态环境,2004,13(4):698-701.
- [6] 郭琼.基于SPSS软件的主成分分析法探析:榆次区土地生态系统健康评价[J].山西农业大学学报:自然科学版,2012,32(1):58-62.
- [7] 梁喜波.土地生态系统健康评价[D].吉林 长春:吉林大学,2008.
- [8] 蔡为民,唐华俊,陈佑启,等.土地利用系统健康评价的框架与指标选择[J].中国人口·资源与环境,2004,14(1):31-35.
- [9] 郑华伟,张锐,杨兴典,等.基于PSR模型的土地利用系统健康评价及障碍因子诊断[J].长江流域资源与环境,2012,21(9):1099-1105.
- [10] FAO Proceedings. Land Quality Indicators and Their Use in Sustainable Agriculture and Rural Development [R]. Proceedings of the Workshop Organized by the Land and Water Development Division FAO Agriculture Department, 1997.
- [11] Rainer W. Development of Environmental Indicator Systems: Experiences from Germany[J]. Environmental Management, 2000,25(6):613-623.
- [12] 郭杰,吴斌.土地利用系统健康评价[J].中国土地科学,2011,25(4):71-77.
- [13] 仇蕾.基于免疫机理的流域生态系统健康诊断预警研究[D].江苏 南京:河海大学,2006.
- [14] 郑华伟,张锐,刘友兆.基于物元分析的土地利用系统健康诊断[J].中国土地科学,2012,26(11):33-39.
- [15] 高珊,黄贤金.基于PSR框架的1953—2008年中国生态建设成效评价[J].自然资源学报,2010,25(2):341-350.
- [16] 郑华伟.基于改进熵值法的耕地利用集约度评价[J].新疆农垦经济,2010,29(4):53-58.
- [17] 陶晓燕,章仁俊,徐辉,等.基于改进熵值法的城市可持续发展能力的评价[J].干旱区资源与环境,2006,20(5):38-41.
- [18] 刘思峰.灰色系统理论及其应用[M].5版.北京:科学出版社,2010.
- [19] 郭锐利,郑钦玉,刘娟,等.基于熵值法和GM(1,1)模型的重庆城市生态系统健康评价[J].中国环境科学,2012,32(6):1148-1152.
- [20] 周瑞平.GM(1,1)模型灰色预测法预测城市人口规模[J].内蒙古师范大学学报:自然科学汉文版,2005,34(1):81-83.
- [21] 戴亚南,贺新光.长株潭地区生态可持续性[J].生态学报,2013,33(2):595-602.