

# 基于 PSR 模型的土地利用系统健康评价及障碍因子诊断 ——以延长县为例

钟少华<sup>1</sup>, 时鹏<sup>1</sup>, 杨文刚<sup>1</sup>, 李占斌<sup>1,2</sup>, 李鹏<sup>1</sup>, 杨殊桐<sup>1</sup>

(1. 西安理工大学 省部共建西北旱区生态水利国家重点实验室, 西安 710048;

2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**土地利用系统健康评价是从系统的结构、功能和效益等方面进行的评价,是评价土地资源可持续利用的重要手段。基于 PSR 模型理论,构建了延长县土地利用系统健康评价的指标体系,采用改进熵值法对各指标进行了权重赋值,对其土地利用系统进行了健康评价并诊断影响其系统健康的障碍因子。研究表明:(1) 2000 年以前延长县各土地利用类型面积变化较小,2000 年以后草地和林地面积大幅增加,到 2010 年分别达到了 1 165.58,431.10 km<sup>2</sup>,其林草面积占延长县总面积的一半以上。(2) 延长县土地利用系统健康状态 1980—2010 年呈逐渐好转的趋势,其综合指数从 1980 年的 0.268 上升到 2010 年的 0.654,土地利用健康等级从“不健康”转变为“亚健康”状态。(3) 2000 年以前系统健康的主要障碍因素有森林覆盖率、人均 GDP、水土流失治理率、有效灌溉率,2000 年以后主要障碍因素逐渐转变为土地垦殖率、水土协调度、人口自然增长率等。(4) 系统评价的 3 个子系统,其中属系统状态的障碍度最高;系统压力的障碍度随时间变化一直呈上升趋势;系统响应障碍度随时间变化一直呈减小趋势。

**关键词:**土地利用; PSR 模型; 健康诊断; 障碍度; 延长县

**中图分类号:** F301.24

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2019)02-0283-07

## Health Evaluation and Obstacle Factors Diagnosis of Land Use System Based on PSR Model —A Case Study of Yanchang County

ZHONG Shaohua<sup>1</sup>, SHI Peng<sup>1</sup>, YANG Wengang<sup>1</sup>, LI Zhanbin<sup>1,2</sup>, LI Peng<sup>1</sup>, YANG Shutong<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Eco-hydraulics in Northwest Arid Region of China, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, CAS&MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The health evaluation of land use system is an evaluation from the aspects of the structure, function and efficiency of the system, is an important means to evaluate the sustainable utilization of land resources. Based on the PSR model theory, the index system of the health evaluation of the land use system in Yanchang County was constructed. The index was weighted by the improved entropy method, and the comprehensive index (CEL) and the obstacle model were used to evaluate the land use system, and to diagnose the obstacle factors affecting the health of the land use system. The results showed that: (1) the area of land use types in Yanchang County changed little before 2000, and the areas of grassland and woodland increased significantly after 2000, and the areas of grass land and woodland were 1 165.58 km<sup>2</sup> and 431.10 km<sup>2</sup> in 2010, respectively, and the areas of forest and grass accounted for more than half of the total area of Yanchang County; (2) the health status of the land use system in Yanchang County gradually improved from 1980 to 2010, and its comprehensive index rose from 0.268 in 1980 to 0.654 in 2010, and the health grade of land use changed from ‘unhealthy’ to ‘sub-health’; (3) the main obstacle factors of system health before 2000 were forest coverage, per capita GDP, soil erosion control rate and effective irrigation rate; after 2000,

收稿日期: 2018-04-28

修回日期: 2018-06-19

资助项目: 国家重点研发计划(2017YFC0504704); 国家自然科学基金(41601092)

第一作者: 钟少华(1995—), 男, 陕西商洛人, 硕士研究生, 研究方向为生态环境建设。E-mail: 763772245@qq.com

通信作者: 时鹏(1986—), 男, 山东菏泽人, 副教授, 主要从事景观生态学研究。E-mail: shipeng015@163.com

the main obstacle factors gradually changed into land reclamation rate, water and soil association scheduling, natural population growth rate and so on; (4) the three subsystems of system evaluation, among which the system state had the highest obstacle degree; the obstacle degree of system pressure had been on the rise with time, and the system response obstacle degree had been decreasing with time.

**Keywords:** land use; PSR model; health diagnosis; obstacle degree; Yanchang County

土地系统是各自然因素和人类活动相互作用而形成的统一整体<sup>[1]</sup>。近年来,由于社会经济的飞速发展,与日俱增的土地需求和有限的土地资源之间的矛盾越发凸显。而基于我国地少人多的国情,加上近些年土地资源浪费,不合理的土地利用等现象的频发,使得开展土地利用系统健康的研究显得比较迫切<sup>[2-3]</sup>。在黄土丘陵沟壑区由于生态环境比较脆弱、水土流失严重、土地资源紧缺,使得有限的土地资源与持续增长人口之间的矛盾持续加剧,如何更好地将仅有的土地资源合理的利用起来就显得极为重要。因此,在黄土丘陵区开展土地利用系统健康的研究就显得尤为重要。

土地利用系统健康评价的研究始于 Aldo Leopold 提出的土地健康概念,并使用“land sickness”来描述土地生态系统功能的紊乱<sup>[4]</sup>。而开展土地利用系统健康研究关键在于确定和检查土地健康参数,这样做是为了确保土地资源在被人类利用的时候不至于丧失自身的功能<sup>[5]</sup>。土地利用系统健康研究的目的是为了使人类社会可持续发展,而土地利用系统的健康才能促进经济、社会和生态三者之间和谐统一<sup>[6]</sup>,所以只有综合从各个方面研究土地利用系统健康问题才具有实际意义。目前,国内关于土地利用系统健康的研究主要集中在土地利用系统健康内涵、土地利用系统健康评价等方面,而很少在评价的基础之上诊断其影响土地利用健康发展的障碍因素,并且目前研究大多都是开展定性的研究,很少采用定量的方法。为此本文以位于黄土高原的延长县为例,构建基于 PSR 模型延长县土地利用系统健康评价体系,分析延长县土地利用变化特征,评价其土地利用系统健康状态,探讨阻碍延长县土地利用系统健康发展的因素,为延长县土地利用系统合理利用提供科学依据和决策参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况与数据来源

延长县位于陕西省北部、延安地区东部,延河下游,东临黄河,与山西省大宁、永和县相望,南接宜川以雷多河为界,西连延安,北临延川。延长县土地总面积 2 220.85 km<sup>2</sup>,常住人口 12.86 万,地区生产总

值 37.824 2 亿元,人均可支配收入 17 587 元,拥有丰富的土地资源和矿产资源,主要有石油、煤炭、天然气、石灰石等。土壤以黄绵土和黑垆土为主,土壤土层深厚。该地区属大陆性季风半干旱气候,春夏秋冬四季分明,冷暖干湿明显,多年平均气温 10.4℃,年日照总时数 2 504.6 h,气温昼夜温差大,无霜期 170 d,降雨量集中在 7—9 月,年平均降水量 564 mm。该县光照充足,光热昼夜温差 20℃左右,降水集中在作物生长茂盛期,适宜种植多种农作物,有利于林牧业生产。

本研究所使用的数据来自 1980 年、1990 年、2000 年和 2010 年的 TM 遥感图像,分辨率为 30 m,采用人机交互解译生成,将延长县土地利用类型划分为耕地、林地、草地、水域和城乡、工矿、居民用地,共 5 大类。土地利用系统健康评价指标数据主要来源于延长县 1980 年、1990 年、2000 年、2010 年《延长县统计年鉴》。

### 1.2 评价模型与指标构建

1.2.1 评价模型的构建 “压力—状态—响应”(PSR)概念模型是由联合国 OECD 和 UNEP<sup>[7]</sup>提出的用于评价人类活动对生态环境的影响程度。该模型突出了环境受到压力和环境之间的因果关系,压力、状态、响应 3 个环节相互制约、相互影响<sup>[8]</sup>。PSR 模型主要目的是在评价环境系统的可持续性的基础上,探寻人类活动和环境变化的因果关系,因此利用 PSR 模型可以来评价土地利用系统的健康情况。

#### 1.2.2 评价指标的构建

(1) 评价指标构建的原则。土地利用系统是一个以土地利用为基础的自然、经济、社会复合系统,既有生态系统的一般特征,又有其本身的特殊性:它是在一定的土地利用方式和特定土地单元下,与社会经济因素相互作用而形成的系统,包括自然生态系统、社会系统和经济系统,土地自然生态系统是土地利用系统形成的基础<sup>[9]</sup>。土地利用系统是否健康就是要看土地利用系统所产生的生态效益、社会效益是否满足人类的需要<sup>[6,10-11]</sup>。

土地利用系统健康评价指标应遵循综合性、空间尺度适合性、恰当性、规范性、简明性和可操作性等原则<sup>[12]</sup>。本文在构建延长县土地利用系统健康评价指

标体系时,首先遵循土地利用系统的一般规律,其次认真考虑延长县特有的地区特征。延长县属于黄土高原丘陵沟壑区,生态环境很是脆弱,水土流失严重,土地利用容易受到威胁。为了客观、全面地评价延长县土地利用系统的健康状况,本文采用植被覆盖率、农民人均收入等一般规律和生态环境脆弱、水土流失严重的地区特征结合的方法构建延长县土地利用系统健康的评价指标体系。

(2) 指标构建的思路。构建土地利用系统健康评价指标体系,首先得遵循科学性、系统性、可比性和获取性等原则。土地利用系统的好坏用“综合指数”

来表示,“综合指数”由“压力指数”、“状态指数”和“响应指数”共同决定<sup>[11]</sup>。土地利用系统带来巨大的压力,主要展现在人口压力、经济发展压力、土地利用压力。而这种巨大的压力会约束社会经济的发展、改变土壤环境的质量,使土地利用系统的状态发生改变;而这种土地利用的状态会反馈给人类一些信息,为了确保土地利用系统的健康发展,人类需给予相应的响应,如环境保护、政策调整等。根据上述构建的原则和思路,从压力、状态、响应 3 个方面来反映延长县土地利用系统健康状况的指标。评价指标体系结构和指标数据来源及代表的含义见表 1。

表 1 延长县土地利用可持续性评价指标体系

准则层	因素层	指标层	评价函数
系统压力	人口活动压力	人口密度( $X_1$ )	总人口/土地总面积
		人口自然增长率( $X_2$ )	
	经济发展压力	城市化水平( $X_3$ )	非农业人口/总人口 当年 GDP/前一年 GDP-1
		GDP 年增长率( $X_4$ )	
	土地利用压力	土地垦殖率( $X_5$ )	耕地面积/土地总面积
		单位耕地化肥负荷( $X_6$ )	化肥施用量/耕地总面积
		建设用地比例( $X_7$ )	建设用地面积/土地总面积
		单位耕地农药负荷( $X_8$ )	农药施用量/耕地总面积
		土地利用率( $X_9$ )	农用和建设用地和/土地总面积
		单位耕地地膜负荷( $X_{10}$ )	地膜使用量/耕地总面积
系统状态	社会经济发展	人均 GDP( $X_{11}$ )	GDP/总人口
		第三产业占 GDP 比重( $X_{12}$ )	第三产业占 GDP/总 GDP
		农民人均收入( $X_{13}$ )	
	土地集约利用	人均建设用地( $X_{14}$ )	建设用地面积/总人口
		人均耕地面积( $X_{15}$ )	耕地总面积/总人口
		地均 GDP( $X_{16}$ )	GDP/土地总面积
	生态环境质量	有效灌溉率( $X_{17}$ )	有效灌溉面积/耕地总面积
		水土协调度( $X_{18}$ )	本区水资源量/本区耕地面积
		森林覆盖率( $X_{19}$ )	森林面积/土地总面积
		人工造林增长率( $X_{20}$ )	当年造林面积/前一年造林面积-1
系统响应	环境治理	水土流失治理率( $X_{21}$ )	水土流失治理面积/水土流失总面积
		工业废水排放达标率( $X_{22}$ )	达标工业废水排放量/工业废水总排放量
		生活污水处理率( $X_{23}$ )	污水处理量/生活污水排放量
		环保投资强度( $X_{24}$ )	环境治理投资金额/GDP

1.3 研究方法

1.3.1 指标权重的确定 土地利用系统健康评价指标权重的确定是确保评价准确的关键,其准确与否直接关系到评价结果的可靠性<sup>[13]</sup>。本文采用改进熵值法来确定各评价指标的权重<sup>[14-15]</sup>,计算所得各指标的权重见表 2。

1.3.2 土地利用系统健康障碍因子诊断 对单项指标和分类指标的障碍作用大小进行评估,可以找出阻碍延长县土地利用系统健康的主要障碍因素,从而更好地掌握该地区的实际情况,为更好、更准确地提出治理决策提供依据。构建土地利用系统障碍诊断模

型,如下<sup>[13,16-17]</sup>:

$$X_{ij} = 1 - X'_{ij} \tag{1}$$

$$Y_i = X_{ij} \times V_j / \sum_{j=1}^{24} (X_{ij} \times V_j) \times 100\% \tag{2}$$

$$Y_i = \sum y_i \tag{3}$$

式中: $X_{ij}$ 为指标偏离度,表示各指标实际值与最优目标之间的差距,可以用 1 与各指标的标准化值  $X'_{ij}$  之差表示; $X'_{ij}$ 为对应指标的标准化值; $Y_i, y_i$ 为障碍度,分别表示第  $i$  年分类指标和单项指标对土地利用系统健康的影响; $V_j$ 为因子贡献度,表示单项因素对总目标的影响程度,即单因素对总目标的权重( $W_i \cdot W_{ij}$ )。

1.3.3 综合指数的计算 采用综合指标来反映土地利用系统健康的整体状况,具体采用加权函数合成的土地利用系统健康的综合指数<sup>[13-18]</sup>:

$$F=\sum_{i=1}^3W_i\times(\sum_{j=1}^nX'_{ij}\times W_{ij}) \tag{4}$$

式中: $F$  为土地利用系统健康综合指数; $W_i$  为第  $i$  子系统的权重; $W_{ij}$  为第  $i$  子系统第  $j$  项指标的权重; $n$  为第  $i$  子系统所包含的指标数。

表 2 土地利用系统健康评价指标权重

目标层	准则层	权重	指标层	权重
	系统压力	0.36	人口密度( $X_1$ )	0.03
			人口自然增长率( $X_2$ )	0.04
			城市化水平( $X_3$ )	0.02
			GDP 年增长率( $X_4$ )	0.03
			土地垦殖率( $X_5$ )	0.04
			单位耕地化肥负荷( $X_6$ )	0.03
			建设用地比例( $X_7$ )	0.05
			单位耕地农药负荷( $X_8$ )	0.05
			土地利用效率( $X_9$ )	0.02
			单位耕地地膜负荷( $X_{10}$ )	0.05
土地利用系统健康	系统状态	0.52	人均 GDP( $X_{11}$ )	0.07
			第三产业占 GDP 比重( $X_{12}$ )	0.04
			农民人均收入( $X_{13}$ )	0.04
			人均建设用地( $X_{14}$ )	0.02
			人均耕地面积( $X_{15}$ )	0.06
			地均 GDP( $X_{16}$ )	0.06
			森林覆盖率( $X_{17}$ )	0.07
			水土协调度( $X_{18}$ )	0.05
			人工造林增长率( $X_{19}$ )	0.05
			有效灌溉率( $X_{20}$ )	0.06
	系统响应	0.12	水土流失治理率( $X_{21}$ )	0.02
			工业废水排放达标率( $X_{22}$ )	0.03
			生活污水处理率( $X_{23}$ )	0.02
			环保投资强度( $X_{24}$ )	0.05

1.3.4 土地利用系统健康级别 在借鉴国内外生态系统健康等级划分的基础上,将土地利用系统健康级别分为:病态、不健康、临界状态、亚健康和健康 5 个等级<sup>[9]</sup>(表 3)。

表 3 土地利用系统健康分级标准

综合指数	1.0~0.8	0.8~0.6	0.6~0.4	0.4~0.2	0.2~0.0
等级	健康	亚健康	临界状态	不健康	病态

2 结果与分析

2.1 延长县土地利用类型面积变化

耕地主要分布在延长县的中部、西北部和东部。草地分布范围广泛,林地主要分布在延长县的西南部和东南部,北部和中部呈斑块分布(图 1)。

延长县土地总面积共 2 220.85 km<sup>2</sup>,其中以草地、林地和耕地为主(表 4)。1980 年,延长县草地面积 957.81 km<sup>2</sup>,占延长县总面积的 43.13%;其次为

耕地,面积达到了 881.91 km<sup>2</sup>,占延长县总面积的 39.71%;林地面积 369.49 km<sup>2</sup>,占延长县总面积的 16.64%;水域和城乡、工矿、居民用地面积较小,分别只有 9.75、1.88 km<sup>2</sup>。

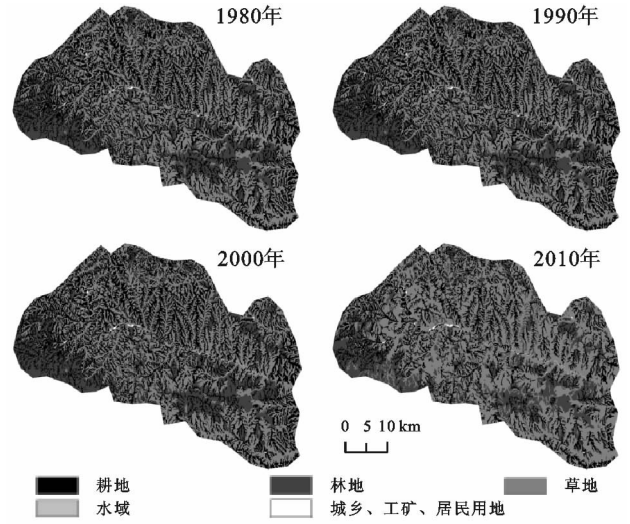


图 1 延长县 4 期土地利用类型图

表 4 延长县 1980—2010 年土地利用类型面积

km <sup>2</sup>					
年份	耕地	林地	草地	水域	城乡、工矿、居民用地
1980	881.91	369.49	957.81	9.75	1.88
1990	882.31	369.49	957.29	9.89	1.88
2000	880.43	374.47	954.56	9.15	2.23
2010	612.16	431.1	1165.58	9.08	2.93

1990 年延长县土地利用类型与 1980 年比较变化较小,耕地和水域有较小增加,面积分别比 1980 年增加了 0.39、0.13 km<sup>2</sup>,草地面积相比 1980 年略有减少,而林地和城乡、工矿、居民用地面积没有发生变化。2000 年,延长县土地利用发生一定的改变。与 1980 年相比,2000 年延长县耕地和草地分别减少了 1.49、3.25 km<sup>2</sup>,林地增加了 4.98 km<sup>2</sup>,水域减少了 0.60 km<sup>2</sup>,城乡、工矿、居民用地增加了 0.36 km<sup>2</sup>。2010 年,延长县土地利用与 20 世纪相比发生较大变化。草地、林地和耕地依然是主要的土地利用类型。草地面积增加到了 1 165.58 km<sup>2</sup>,占到延长县总面积的 52.48%;耕地面积下降到了 612.16 km<sup>2</sup>,但依然占延长县总面积的 27.56%;林地面积增加到了 431.10 km<sup>2</sup>,占延长县总面积的 19.41%;水域面积略有下降,达到 9.08 km<sup>2</sup>;城乡、工矿、居民用地面积上升明显,达到了 2.93 km<sup>2</sup>。导致上述变化的原因主要是在 1998 年我国实行退耕还林草工程,同时在国家政策的影响下延长县政府也实施了相应的政策,其要求按流域一架山一条沟,集中治理。遵照“防治并重,治管结合,因地制宜,全面规划,综合治理,除害兴利”的水保方针,

将流域治理承包到户,使环境治理效率大大提高。大部分的耕地退耕被用来种植林草,使得延长县2000年以后林地和草地面积大幅增加。城乡、工矿、居民用地变化不太明显。

## 2.2 综合评价结果

2.2.1 综合评价 根据上述已建立的土地利用系统健康的评价指标体系,确定了各指标体系的权重,利用综合评价的方法分别对延长县土地利用系统整体和各子系统进行了评价(图2)。

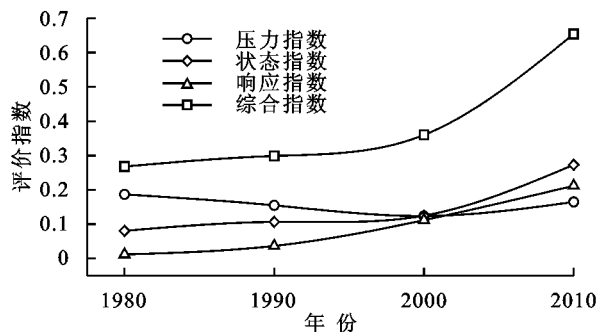


图2 延长县土地利用系统健康评价结果

本研究分别对延长县1980年、1990年、2000年、2010年土地利用系统健康综合指数变化进行分析,从图2可以看出,延长县土地利用系统健康综合指数总体处于上升趋势,2000年以后增长幅度最大。

延长县土地利用系统健康综合指数从1980年的0.268上升到2010年的0.654,土地利用系统健康不断好转,土地利用等级从1980年的“不健康”状态转变为2010年的“亚健康”状态。1980—1990年期间综合指数年均增长率为1.15%;1990—2000年年均增长率为2.07%;2000—2010年年均增长率为8.1%。研究发现:延长县的土地利用系统健康综合指数年均增长率最大为2000—2010年的8.1%。究其原因发现,我国从1998年开始实施退耕还林草工程,而黄土丘陵沟壑区则是重点治理区域,大量的耕地退还为草地和森林。2000—2010年期间延长县耕地面积有50.33 km<sup>2</sup>转换为林地,222.95 km<sup>2</sup>转换为草地,这极大地促进了生态环境的改善。同时延长县政府大力发展特色经济,鼓励农民大棚种植蔬菜、水果等经济作物提高了农民人均收入。减缓了农民日益增长的经济需求和有限土地资源之间的矛盾,间接地保护了延长县的生态环境。这些都促进了土地利用等级的转变。虽然综合指数显示延长县土地利用系统健康逐渐好转,但其依然存在生态环境脆弱,森林覆盖率依然较低,水土流失比较严重且反复的现象,所以仍得继续加大水土流失的治理力度和环境保护强度。

2.2.2 分类指标分析 对延长县土地利用系统分类指标进行分析,有助于更直观了解每个子系统对土地

利用系统健康的影响。如图2所示,1980—2010年延长县土地利用系统各分类指标指数变化过程。

压力指数:1980—2010年,呈先减小后增加的趋势。压力指数是一个负向指标,值越小代表着生态压力越大<sup>[19]</sup>。从图2中可以看出,1980—2000年压力指数持续呈下降趋势,2000年达到一个最低值为0.124,说明延长县土地利用压力状况持续恶化,土地利用的干扰程度加强。1980年压力指数是1990年的1.21倍,年均减少率为2.29%;1990年是2000年的1.25倍,年减少率为2.78%;2010年是2000年的1.33倍,年均增长率为3.67%。可以看出2000年以后土地利用压力指数增加幅度较大,说明其土地利用所承受的压力减小,有利于土地利用系统健康的发展。延长县土地利用压力指数在2000年之前一直呈减小趋势,说明这一时期土地利用压力持续增大,系统健康不断恶化。分析其主要影响因素主要有:人口密度持续增长,单位耕地农药、化肥的大量使用,不合理的土地利用,大量的植被破坏。如单位耕地农药负荷从1980年的0.215 kg/hm<sup>2</sup>,上升到2000年的7.38 kg/hm<sup>2</sup>;单位耕地化肥负荷从1980年的75 kg/hm<sup>2</sup>,上升到2000年的1.92 t/hm<sup>2</sup>;单位耕地地膜负荷从80 a的1.425 kg/hm<sup>2</sup>,上升到2000年的37.65 kg/hm<sup>2</sup>。而2000年以后系统压力指数呈上升趋势,而且年均增长达到了3.67%,说明这个时期土地利用压力指数正在快速的增长,随之系统的压力逐渐减小,主要原因可能是2000年以后退耕还林还草的政策实施,大量的耕地退耕,植被慢慢恢复。同时,城市化水平也逐渐提高,经济快速发展,农村大多数年轻人走向城镇,耕地比重明显减小,随之林地草地比重增大。相比较2000年以后延长县单位耕地化肥、农药、地膜使用量也大幅减小,这在一定程度上也促进了土地利用系统健康的发展。

状态指数:从1980—2010年逐渐增大,发展水平迅速提高。1990年状态指数是1980年1.32倍,年增长率为3.21%;2000年是1990年的1.17倍,年增长率为1.68%;2010年是2000年的2.18倍,年均增长率11.84%。可以看出,状态指数1980—2000年呈稳步上升趋势,在2000年以后增长速率明显提高。说明在系统状态方面延长县还是做了很多工作。在这一时期人工造林面积和森林覆盖率大大增加,农民人均收入不断提高等因素,其中人工造林面积从1980年237.27 km<sup>2</sup>增长到2000年的1076.50 km<sup>2</sup>;森林覆盖率从1980年的0.145增长到2000年的0.182,诸多有利因素使延长县土地利用系统状态指数呈上升趋势,反映了系统健康正处在一个稳定上升,逐渐变好的状态。

响应指数:延长县土地利用系统响应指数在整个研究时段内都呈上升趋势,发展水平逐渐提高。1990 年系统响应指数是 1980 年的 3.08 倍,年均增长 23.1%;2000 年系统响应指数是 1990 年 3.02 倍,增长率 20.27%;2010 年是 2000 年的 2.93 倍,年均增长率 19.28%。可以看出系统响应指数方面一直都以一个平稳的速度在增加,但年增长速率略有下降,基于此延长县应该在做好系统压力和状态工作以外,还要大力加强系统响应方面的工作力度,尤其是在水土流失的治理和环境保护投资方面。

### 2.3 土地利用系统障碍因素诊断

2.3.1 主要障碍因素的诊断 分别对延长县 1980 年、1990 年、2000 年和 2010 年土地利用系统健康障碍度进行计算(表 5)。可见,1980 年阻碍土地利用系统健康的障碍因子是森林覆盖率( $X_{17}$ )、人均 GDP( $X_{11}$ )、水土流失治理率( $X_{21}$ )、有效灌溉率( $X_{20}$ )等,其中森林覆盖率是最大阻碍因子;1990 年阻碍土地

利用系统健康障碍因子是森林覆盖率( $X_{17}$ )、人均 GDP( $X_{11}$ )、有效灌溉率( $X_{20}$ )、地均 GDP( $X_{16}$ )等,其中障碍度最大的是森林覆盖率;2000 年阻碍土地利用系统健康障碍因子是森林覆盖率( $X_{17}$ )、人均 GDP( $X_{11}$ )、人均耕地面积( $X_{15}$ )、地均 GDP( $X_{16}$ )等,其中森林覆盖率的阻碍度最高;2010 年阻碍土地利用系统健康障碍因素是土地垦殖率( $X_5$ )、水土协调度( $X_{18}$ )、人口自然增长率( $X_2$ )、人均 GDP( $X_{11}$ )等,其中障碍度最高的是土地垦殖率( $X_5$ )。由此可见,该地区 1980—2000 年影响土地利用健康的最大障碍因素都是森林覆盖率( $X_{17}$ ),而这一主要障碍因素在 2010 年已经下降到 7.58%,人均 GDP( $X_{11}$ )也下降到 8.03%。水土流失治理率( $X_{21}$ )障碍度从 1980 年的 9.94%下降到 2010 年的 7.82%,有效灌溉率从 1980 年的 9.93%下降到 2010 年的 6.49%。但 2010 年土地垦殖率上升为第一障碍因素,水土协调度和人口自然增长率等因素的障碍度又逐渐增大。

表 5 延长县 1980 年、1990 年、2000 年、2010 年土地利用系统障碍因素排序

年份	位序	1	2	3	4	5	6	7	8
1980	障碍因素	$X_{17}$	$X_{11}$	$X_{21}$	$X_{20}$	$X_{16}$	$X_{18}$	$X_7$	$X_{19}$
	障碍度/%	11.26	10.6	9.94	9.93	9.71	7.52	7.13	7.02
1990	障碍因素	$X_{17}$	$X_{11}$	$X_{20}$	$X_{16}$	$X_{21}$	$X_{18}$	$X_7$	$X_{19}$
	障碍度/%	11.59	10.78	10.19	9.74	8.69	7.68	7.33	7.07
2000	障碍因素	$X_{17}$	$X_{11}$	$X_{15}$	$X_{16}$	$X_{20}$	$X_{21}$	$X_{18}$	$X_{10}$
	障碍度/%	11.45	10.69	10.6	9.53	9.33	8.45	6.53	6.02
2010	障碍因素	$X_5$	$X_{18}$	$X_2$	$X_{11}$	$X_{16}$	$X_{21}$	$X_{17}$	$X_{15}$
	障碍度/%	10.39	8.89	8.12	8.03	7.92	7.82	7.58	6.50

研究发现,2000 年以前延长县植被覆盖率较低,而 2000 年以后植被恢复速度加快,森林植被覆盖面积持续增加。其可能由于之前大规模的开垦使得生态环境遭到严重的破坏。黄土高原作为退耕还林还草工程的重点实施区域,其表现在大量的耕地退耕,人工造林面积增加,森林覆盖度增加,植被慢慢恢复,这在很大程度上促进了延长县的生态环境的好转。但由于人均 GDP 减小,人均耕地面积减小,使得水土协调度等又出现了不平衡现象,从而继续阻碍着延长县土地利用的健康发展。所以为了保障延长县土地利用系统健康,需继续加强环境保护和水土流失的治理力度,同时关注人口增长速率和水土协调的平衡。

2.3.2 各子系统的障碍度分析 如图 3 所示,从总的趋势看,系统压力障碍度随时间呈上升趋势,从 1980 年的 29.28%上升到 2010 年 60.89%,年平均增长率为 2.47%,而 2000—2010 年年均增长速率为 4.00%;系统响应障碍度随年份增加而逐渐减小,年均减少率 1.67%;系统状态障碍度在 1980—2000 年一直处于上升

趋势,年均增长率为 0.24%,在 2000—2010 年呈下降趋势,年均减少率为 1.44%。由此可见,延长县在 1980—2010 年在系统响应方面还是取得了一定的成果。其环境保护强度从 1980 年的 2.05%增长到 2010 年的 5.79%;水土流失治理率从 1980 年的 26.1%增长到 2010 年的 76.9%等。延长县加强了环境保护投资强度、水土流失治理力度等,为进一步提高土地利用系统健康做出了贡献。系统压力障碍度呈逐年上升的趋势,且 2000 年以后其年均增长速率是 2000 年以前的 1.62 倍,所以从长远来看系统压力会成为阻碍土地利用健康发展的重要因素。系统状态障碍度在 2000 年发生了转折,说明 2000 年以后系统状态方面如森林覆盖率、有效灌溉率、人工造林面积增长率等障碍度有所减小,情况有所好转。虽然系统状态障碍度有所减小,但实际情况仍然不容乐观,其障碍度依然是 3 个子系统里最高的,所以后期必须对系统状态高度关注,加大对其治理和改善力度,从而促进延长县土地利用系统健康的长远发展。

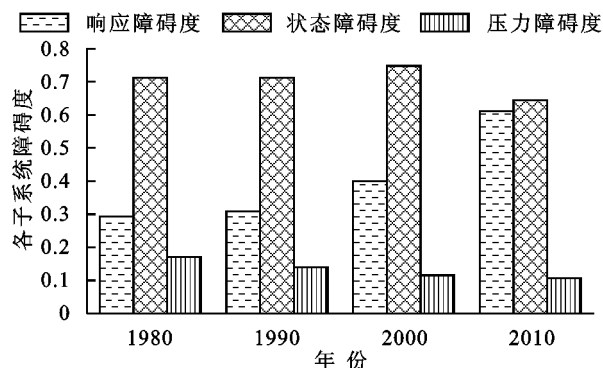


图3 延长县土地利用系统各分类指标障碍度

### 3 结论

对于土地利用系统健康的评价,不能单从资源、环境等方面进行研究,而是要从“社会—经济—环境—资源”全方面、整体对土地利用系统进行评价。土地利用系统健康的评价,在满足人类社会可持续发展的前提下,土地利用系统为人类提供需求的同时,评价其是否维持系统本身的结构和功能,目的是诊断有自然因素和人类活动引起的系统破坏和退化程度,以便发出预警,为管理者提供决策依据<sup>[13]</sup>。通过本文研究得出以下3个结论:

(1) 延长县1980—2000年5种土地利用类型面积变化不大,2000—2010年草地和林地面积增长幅度较大,到2010年其分别占延长县总面积的52.48%,19.41%。

(2) 延长县土地利用系统健康状况1980—2000年逐渐好转,2000—2010年综合指数增长速度最快。土地利用系统健康综合指数从1980年的0.268上升到2010年的0.654,土地利用系统健康逐渐好转,土地利用等级从1980年的“不健康”状态转变为2010年的“亚健康”状态。

(3) 1980—2000年阻碍延长县土地利用系统健康的主要障碍因素是森林覆盖率、人均GDP、水土流失治理率、有效灌溉率等。这些阻碍因素在2000—2010年障碍度都大幅减小,但土地垦殖率、水土协调度、人口自然增长率等成为新的主要障碍因素。各子系统障碍度分析表明,系统状态的障碍度高居不下,系统压力的障碍度呈上升趋势,系统响应障碍度呈减小趋势。综上所述,今后需加大系统状态和系统压力方面的治理力度。

#### 参考文献:

[1] 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].生态环境学报,2004,13(4):698-701.

[2] 陈美球,刘桃菊.土地健康与土地资源可持续利用[J].中国人口·资源与环境,2003,13(4):64-67.

[3] 陈美球,吴次芳.土地健康研究进展[J].江西农业大学学报:自然科学版,2002,24(3):324-329.

[4] Rapport D J, Böhm G, Buckingham D, et al. Ecosystem health: The concept, the ISEH, and the important tasks ahead[J]. Ecosystem Health, 2001,5(2):82-90.

[5] Birkett S, Rapport D. A framework for identifying and classifying ecosystem dysfunctions [J]. Environmentalist, 1998,18(1):15-25.

[6] 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.

[7] Walz R. Development of environmental indicator systems: Experiences from Germany [J]. Environmental Management, 2000,25(6):613-623.

[8] 于伯华,吕昌河.基于DPSIR概念模型的农业可持续发展宏观分析[J].中国人口·资源与环境,2004,14(5):68-72.

[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] 贺翔.上海市土地利用系统健康评价研究[D].武汉:华中农业大学,2007.

[11] 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.

[12] 袁兴中,刘红,陆健健.生态系统健康评价:概念构架与指标选择[J].应用生态学报,2001,12(4):627-629.

[13] 邓楚雄,谢炳庚,吴永兴,等.上海都市农业生态安全定量综合评价[J].地理研究,2011,30(4):645-654.

[14] 郭显光.改进的熵值法及其在经济效益评价中的应用[J].系统工程理论与实践,1998,18(12):98-102.

[15] 游达明,许斐.熵值法在区域旅游业经济效益评价中的应用[J].中南大学学报:社会科学版,2003,9(5):641-643.

[16] 吴开亚.巢湖流域农业循环经济综合评价[J].中国人口·资源与环境,2008,18(1):94-98.

[17] 鲁春阳,文枫,杨庆媛,等.基于改进TOPSIS法的城市土地利用绩效评价及障碍因子诊断:以重庆市为例[J].资源科学,2011,33(3):535-541.

[18] 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.

[19] 张军以,苏维词,张凤太.基于PSR模型的三峡库区生态经济区土地生态安全评价[J].中国环境科学,2011,31(6):1039-1044.