

3S 支持下的陇中黄土高原生态系统健康评价 ——以甘肃省榆中县为例

黄会平¹, 张岑^{2,3}, 韩宇平¹

(1. 华北水利水电学院 资源与环境学院, 河南 郑州 450011; 2. 深圳平岗中学,
广东 深圳 518116; 3. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘要: 利用遥感影像、DEM 和调查数据, 在野外调查的基础上, 利用 3S 技术, 生成各参评因子的专题栅格图层。运用层次分析法, 从影响生态系统健康的自然和人文因子的角度出发, 选择活力、组织结构、负荷能力、恢复力、生态系统功能维持、外部投入及人群健康状况作为研究区生态系统健康评价的 7 个要素, 构建生态系统健康评价指标体系。健康等级划分为: 很健康、健康、中度健康、一般病态和疾病 5 级。研究结果表明, 该县生态系统健康状况处于中等偏下水平, 一般病态面积占到 45%~50%, 而且从 1991 年—2002 年—2006 年病态面积逐年增加, 健康面积逐步缩小, 反映出榆中县 2006 年生态系统健康状况较 2002 年和 1991 年有所下降。

关键词: 生态系统健康; 3S 技术; 陇中黄土丘陵沟壑区; 榆中县

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)04-0205-04

中图分类号: X171, TP79

Ecosystem Health Assessment of Central Gansu Loess Plateau Based on 3S —A Case Study of Yuzhong County, Gansu Province

HUANG Huiping¹, ZHANG Cen^{2,3}, HAN Yuping¹

(1. North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou,

Henan 450011, China; 2. Shenzhen Pinggang High School, Shenzhen, Guangdong 518116, China;

3. College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

Abstract: By taking the Yuzhong area as an example, thematic raster layers of each evaluation factor are established based on DEM, survey data, remote sensing images, and 3S technologies. From the humanistic and natural point of view, vigor, organization, load, resilience, ecosystems maintenance, external input, and human health are chosen as the assessing elements based on the method of AHP. The assessing result is classified into five classes: very healthy state, healthy state, sub-healthy state, non-healthy state, and morbidity state. In the end, the following conclusion is drawn: the area of non-healthy state makes up 40%~50% of Yuzhong County, which indicates that the ecosystem healthy state declined from 1991 to 2006.

Keywords: ecosystem health; 3S technology; Central Gansu Loess Plateau; Yuzhong County

生态系统健康(ecosystem health)是 20 世纪 90 年代国际学术界的新兴研究领域,它是研究人为活动、社会组织、自然系统及人类健康之间相互关系的领域^[1]。目前,尽管国内外学者对生态系统健康概念、评价方法及指标体系等进行了广泛的探讨^[2-4],并在不同时空尺度上对不同生态系统健康状况进行了评价^[5-7],但有关生态系统健康定量评价方法与准则的确定、依研究区具体情况选取指标的合理性仍是研究中的难题。由于生态系统本身的复杂性,针对某一典型研究区,评价方法是否合理,评价指标是否科学,指标计算结果是否正确,都制约着生态系统健康的进

一步发展。本研究从宏观角度来探讨区域的生态健康问题,利用遥感资料、统计年鉴等,在 3S 支持下建立了适合陇中黄土高原区的生态系统健康指标体系,形成了生态系统健康状况评价模型并得出评价结果,为区域生态管理和环境治理提供科学依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

陇中黄土高原^[8](甘肃黄土高原)地处黄土高原西部,位于甘肃省中东部,地跨 7 个地州市 48 个县市区。由于长期的水力侵蚀、切割,地貌以丘陵山地与丘陵沟

收稿日期: 2008-10-24

修回日期: 2009-03-06

资助项目: 水利部公益性行业科研专项经费项目(200801015); 华北水利水电学院高层次人才科研启动项目; 华北水利水电学院青年基金项目(HSQJ2009015)

作者简介: 黄会平(1979—),女(汉族),河南省许昌市人,硕士,讲师,主要从事遥感与地理信息系统研究。E-mail: huanghuiping@ncwu.edu.cn。

壑为主,沟壑纵横。在长期过牧,特别是过垦的情况下,加之近半个世纪来人口和需求的膨胀,使过度开垦、植被破坏、广种薄收、水土流失与日俱增,陇中黄土高原丘陵沟壑区总面积 $6.34 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中水土流失面积 $6.27 \times 10^4 \text{ km}^2$,占总面积的 96.75%^[9]。

1.2 数据源

榆中县 1991 年 TM 和 2002 年、2006 年 ETM 这 3 个时期的影像数据,分辨率 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ 。榆中县 DEM 数据;土壤类型图及各种土壤的面积;榆中县 5 个气象站点的气象资料;1991—2006 年社会经济统计数据。

1.3 研究方法和技术路线

本研究运用 GPS 结合地形图及遥感影像图,获取考察资料和数据;运用 3S 技术,对获取的图像、数据进行分析、定位并建立数据库。对各级评价指标权重选定,先用 AHP 法求值,然后采用信息熵进行修正,建立起生态系统健康评价体系。其技术路线见图 1。

2 区域生态系统健康评价

2.1 指标体系的选取及处理

结合区域具体情况,本研究选择活力、组织结构、

负荷能力、恢复力、生态系统功能维持、外部投入及人群健康状况作为研究区生态系统健康评价的 7 个要素。针对每个要素所涵盖的内涵提出相应的指标,最后构建生态系统健康评价指标体系。为了消除参评指标因量纲不同而造成的影响,采用极值归一化方法对资料进行了无量纲化处理。如公式(1)。

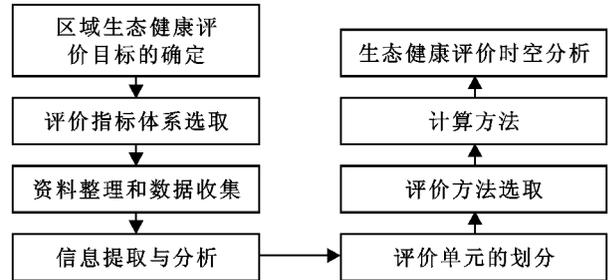


图 1 陇中黄土高原区生态健康评价流程图

$$z_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

指标权重确定有很多方法,各种方法都有自身的特点和适用条件^[10]。本研究选取了层次分析法来确定评价指标的权重,并用信息熵对其进行修正。选定因子及其权重值见表 1。

表 1 选定因子权重及来源

要素层	指标类别	具体指标	来源及获取			
活力(B_1)	0.24	自然活力(C_1)	0.18	生态系统初级生产力(D_1)	0.152 30	解译及派生
		社会经济活力(C_2)	0.06	人均 GDP(D_2)	0.033 25	统计数据
			0.06	年 GDP 增长率(D_3)	0.021 30	统计数据
组织(B_2)	0.17	自然组织(C_3)	0.12	人口自然增长率(D_4)	0.00 840	统计数据
			0.05	生态系统多样性指数(D_5)	0.08 850	统计及派生
		社会经济组织(C_4)	0.05	非农业人口比重(D_6)	0.01 123	统计数据
			0.05	乡镇企业比重(D_7)	0.00 935	统计数据
负荷能力(B_3)	0.10	社会经济负荷(C_5)	0.05	土地垦殖指数(D_8)	0.05 460	解译数据
			0.05	$\geq 25^\circ$ 坡耕地指数(D_9)	0.05 214	解译数据
			0.05	放牧程度(D_{10})	0.01 336	解译、统计
			0.05	人口密度(D_{11})	0.02 177	统计数据
恢复力(B_4)	0.14	自然恢复力(C_6)	0.10	生态弹性指数(D_{12})	0.09 129	解译、统计
		社会经济恢复力(C_7)	0.04	退耕还林还草面积(D_{13})	0.02 114	解译数据
			0.04	水土保持(D_{14})	0.11 260	解译数据
维持生态服务功能(B_5)	0.19	自然生态服务功能(C_8)	0.16	涵养水源 D_{15}	0.09 122	解译及实地监测
			0.16	固碳释氧(D_{16})	0.07 745	解译及实地监测
		社会经济服务功能(C_9)	0.06	人均居住面积(D_{17})	0.01 240	统计数据
			0.06	水窖指数(D_{18})	0.04 125	统计及实地监测
外部投入(B_6)	0.10	社会经济活动投入(C_{10})	0.05	化肥施用量(D_{19})	0.02 744	统计数据
			0.05	农药使用量(D_{20})	0.02 122	统计数据
			0.05	平均寿命(D_{21})	0.00 958	统计数据
对人类健康的影响(B_7)	0.05	人群健康(C_{11})	0.06	病床数(D_{22})	0.01 023	统计数据
			0.05	高中在校学生数(D_{23})	0.00 840	统计数据
			0.05	万人拥有教师数(D_{24})	0.00 914	统计数据

2.2 评价指标信息提取

2.2.1 生态系统基础信息提取 ① 土地利用及其变化信息提取。土地利用信息及其变化信息提取采用历史资料分析、实地调查及遥感图像分析方法采集有关数据信息, 建立土地资料相关因素数据库, 建立相关分析模型。② 生态系统多样性测度。采用 Shannon-Wiener 方法, 王寿兵^[11] 对其指数进行修正, 并且通过验证得到了比较满意的结果。

$$D = - \ln N \sum_{i=1}^n P(\log_2 P_i) \quad (2)$$

式中: D ——生态系统多样性指数; N ——种群数; P ——所有种群的个体数; P_i ——种群 i 的个体占种群的个体的比例。实际工作中, 不可能记录一个群落中所有生物种数及其数量, 通常测定群落样本中的生物数量。陆地生态系统中群落的样本定义为单位面积。因此本研究采用 1 km^2 范围内生态系统的种群数和种群的个体数。

2.2.2 生态系统健康信息提取

① 有机质生产量信息提取。选择郑元润等^[12] 基于 NDVI 建立的植被净第一性生产力(NPP) 模型。考虑到 NDVI 受区域气候影响较大, 运用研究区的降水温度因素对该模型进行修正。

$$\text{NPP} = [-0.6394 - 67.064 \ln(1 - \text{NDVI})] f(u) \quad (3)$$

式中: NPP ——植被净第一性生产力 ($\text{t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$); NDVI ——植被指数; $f(u)$ ——气候因素函数。

② 生态弹性指数信息。一般来说, 单一的生态系统弹性能力相对复杂的生态系统弹性能力较低, 并且系统的复杂性程度越高, 生态系统的健康性就越大。具体测算模型为^[13]:

$$\text{ECO}_{\text{RES}} = D_i \cdot \sum(S_i \cdot P_i) - \sum S_i \cdot \log_2 S_i \cdot \sum(S_i \cdot P_i) \quad (4)$$

式中: D_i ——多样性指数; S_i ——地物 i 的覆盖面积; P_i ——地物 i 的弹性分值。

③ 自然生态服务功能信息提取。该部分信息测算极为复杂。概括为植被土壤保持量、植被涵养水源、生态系统固碳释氧量等。土壤保持量采用美国通用水土流失方程(USLE) 测算, 用不同土地利用类型的现实侵蚀量和潜在侵蚀量的差值表示。

$$A_c = A_p - A_r \quad (5)$$

式中: A_c ——土壤保持量 ($\text{t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$); A_p ——潜在土壤侵蚀量 ($\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$), 指在没有任何地表覆盖和土地管理条件下可能产生的土壤侵蚀量; A_r ——现实土壤侵蚀量 ($\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$), 是在当前地表覆盖条件下的土壤侵蚀量。目前, 对植被涵养水源功能的理论

研究已趋于成熟^[14-15], 本研究根据榆中县的实际情况和特殊地理位置, 利用公式(6) 进行测算。

$$Q_{\text{总}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (6)$$

式中: $Q_{\text{总}}$ ——植被涵养水源总物质质量; Q_1 ——林冠截留量; Q_2 ——枯枝落叶层截留量; Q_3 ——土壤层截留量, 在测量时按土壤类型再加权求和。生态系统中的各类植被吸收空气中的 CO_2 , 释放 O_2 。根据光合作用方程式和已经求得各类生态系统 NPP 值就可测算出榆中县各类生态系统单位面积所固定的 CO_2 和释放 O_2 的物质质量。

2.2.3 社会经济信息的提取 为了便于生态系统健康的评价, 在 GIS 支持下, 本研究对调研的社会经济数据运用内插方法进行了图像化处理。

2.3 生态系统健康综合评价

所有生态系统评价的指标因子提取为 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ 的栅格数据, 每个栅格属性代表专题图层的属性值, 对每个图层进行无量纲化处理, 用各指标的权重乘以每个标准化的栅格图层, 将处理后的同一年份的所有评价指标因子图层叠加, 生成该年度的区域生态系统健康评价结果, 最后用各乡镇具有属性为 1 的栅格图层(需要图区的属性为 1, 不需要图区属性为 0, 相乘的结果, 统计了需要区域的属性, 不需要区域相乘后为 0), 乘以区域生态系统健康评价图层, 统计出各乡镇的平均生态系统健康情况(表 2)。

从表 2 中可以看出, 自 1991 到 2006 年, 仅上华岔、韦营生态健康表现略显上升, 中连川、新营、上庄生态健康基本不变, 其它乡镇生态系统健康状况表现为不同程度地下降, 以整个研究区判断, 生态系统健康状况出现下滑的态势。

2.4 生态系统健康评价等级划分

本研究参照国内外相关研究的有关标准^[16], 针对陇中黄土丘陵沟壑区的特殊地理生态条件, 确定指标等级见表 3。

根据生态系统健康评价指标体系及健康评价等级划分的标准, 得到榆中县生态健康状态分布格局见表 4。

3 讨论

整体来看, 榆中县生态系统健康状况处于中等偏下水平, 一般病态面积占到 45%~50%, 而且从 1991 年—2002 年—2006 年病态面积逐年增加, 健康面积逐步缩小, 反映出榆中县 2006 年生态系统健康状况较 2002 年和 1991 年有所下降。

表 2 榆中县生态系统健康评价结果

乡名	1991年	2002年	2006年	乡名	1991年	2002年	2006年	乡名	1991年	2002年	2006年
园子岔	0.48	0.46	0.47	埧坪	0.36	0.29	0.30	梁坪	0.39	0.31	0.32
夏官营	0.42	0.40	0.39	金崖	0.43	0.42	0.40	兰山	0.32	0.28	0.31
小康营	0.57	0.53	0.54	和平	0.64	0.60	0.60	定远	0.60	0.57	0.55
甘草店	0.37	0.33	0.31	清水	0.37	0.32	0.33	韦营	0.31	0.31	0.33
中连川	0.37	0.35	0.37	高崖	0.42	0.39	0.38	银山	0.67	0.64	0.66
上华岔	0.35	0.33	0.36	新营	0.65	0.64	0.65	马坡	0.70	0.69	0.69
鲁家沟	0.58	0.58	0.57	贡井	0.29	0.27	0.27	哈岷	0.40	0.36	0.37
三角城	0.39	0.34	0.31	连塔	0.42	0.42	0.40	青城	0.49	0.45	0.44
来紫堡	0.52	0.49	0.47	上庄	0.71	0.71	0.71	龙泉	0.39	0.37	0.37
县城区	0.62	0.56	0.55								

表 3 榆中县生态系统健康评价等级划分

等级	健康状况	分级标准	生态特征
I	很健康	0.80~ 1.00	生态结构十分合理,系统活力极强,外界压力小,无生态异常出现,生态功能极其完善,系统极稳定,生态环境完全处于可持续状态。
II	健康	0.60~ 0.80	生态结构比较合理,系统活力极强,外界压力较小,无生态异常出现,生态功能比较完善,系统尚稳定,生态环境可持续。
III	中度健康	0.40~ 0.60	生态结构完整,具有一定的系统活力,外界压力较大,接近生态阈值,系统基本稳定,但敏感性强,已有少量的生态异常出现,可发挥基本的生态功能,生态系统基本可以维持。
IV	一般病态	0.20~ 0.40	生态结构出现缺陷,系统活力较低,外界压力大,生态异常较多,生态功能已不能满足维持生态系统的需要,生态系统已开始退化。
V	疾病	0.00~ 0.20	生态结构极不合理,斑块破碎化严重,活力极低,生态异常大面积出现,生态系统已经严重恶化。

表 4 榆中县生态系统健康评价结果

等级	健康状况	健康值	1991年评价结果		2002年评价结果		2006年评价结果	
			面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%
I	很健康	0.8~ 1.0	0	0	0	0	0	0
II	健康	0.6~ 0.8	54 971.87	16.17	48 994.49	14.84	39 422.65	11.93
III	中度健康	0.4~ 0.6	130 463.63	38.39	127 511.52	38.60	126 945.36	38.42
IV	一般病态	0.2~ 0.4	154 447.32	45.44	153 807.72	46.56	164 016.14	49.65
V	疾病	0~ 0.2	0	0	0	0	0	0

个别乡镇的生态健康状况基本没变或略有上升,表明榆中县采取生态环境保护措施收到了一定的效果,生态环境状况局部有所好转,但局部地区取得的生态环境保护成绩难掩大部分地区生态环境恶化的趋势。因此针对本研究区提出可行、有效的措施是很必要的,如加强生态环境建设的科技支撑作用,大力发展山区多种经营,解决农民能源燃料问题,进行梯田化建设工程,发展生态林业,提高山区植被覆盖率,改善生态环境,高效集雨节灌工程,控制人口增长,着力提高劳动者素质,建立生态环境保护基金,多渠道筹资等措施,切实提高该地的生态健康水平。将遥感引入生态健康这个新兴的领域中,通过从航空航天获取的大范围影像来反演相应的参数。

本研究采用 3S 技术获取生态系统健康定量评价的相关信息,在实践中具有较强的可操作性和客观性,GPS 和 RS 可以获取最新的数据,借助 GIS 的空间分析功能,可以很好地表达出各指标区域生态系统健康的空间分异规律,研究结果较为直观、明了。

[参 考 文 献]

- [1] 罗跃初,周忠轩,孙轶,等. 流域生态系统健康评价方法[J]. 生态学报,2003,23(8):1606-1614.
- [2] Schaeffer D J, Henricks E E, Kerster H W. Ecosystem health: 1. Measuring ecosystem health[J]. Environmental Management, 1988, 12: 445-455.

(下转第 228 页)

7 a 间 8 县居民地这一土地利用类型共增加 6 044.1 hm², 居民地年变化率为 2.03%。各县(市、区)居民地都有不同程度的增加, 临渭区面积变化最多, 增长 2 718.6 hm², 其次是大荔县, 面积增长 1 057.8 hm², 潼关县增长最少, 为 123.1 hm²。居民地年变化率仍以临渭区最高(3.75%), 华阴市居次, 年变化率为 2.62%, 澄城县最低, 仅 0.85%。该县 2000 年居民地面积比重处研究区中游, 基础较好, 经济发展平稳, 7 a 间相对变化不大。

4 结论

应用 RS 与 GIS 技术, 可以提取渭南 8 县(市、区)的地貌类型及城镇、村落分布信息, 进而分析地貌类型格局数量特征及居民地时空变化。

研究区地貌类型复杂多样, 有山、川、塬、沟壑、沙地和河滩湿地等, 以渭北台塬和渭北沟壑面积最广, 比重均超过 20%; 两岸河流阶地比重达 15.31%; 秦岭山地比重超过 10%; 河流滩地比重近 10%。

7 a 间研究区居民地面积增加 6 044.1 hm², 年变化率为 2.03%, 其中临渭区增长 2 718.6 hm², 面积变化最大, 其次是大荔县, 面积增长 1 057.8 hm², 潼关县增长最少, 为 123.1 hm²; 居民地单一土地利用动态度以临渭区最高(3.75%), 澄城县最低, 仅 0.85%。

致谢: 本研究应用了中国资源卫星中心提供的中巴卫星数据, 作者特此表示谢意!

[参 考 文 献]

- [1] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域: 土地利用/覆盖变化的国际研究动向[J]. 地理学报, 1996, 51(6): 553-558.
- [2] Verburg P H, Veldkamp T A, Bouma J. Land use change under conditions of high population pressure, the case of Java[J]. Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions, 1999, 9: 303-312.
- [3] 史培军, 宫鹏, 李晓兵, 等. 土地利用/覆盖变化研究的方法与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [4] 史培军, 陈晋, 潘耀忠. 深圳市土地利用变化机制分析[J]. 地理学报, 2000, 55(2): 151-160.
- [5] 康慕谊, 姚华荣, 刘硕. 陕西关中地区土地资源的优化配置[J]. 自然资源学报, 1999, 14(4): 363-367.
- [6] 任志远, 黄青. 陕西关中地区生态安全定量评价与动态分析[J]. 水土保持学报, 2005, 19(4): 169-172.
- [7] 薛辉, 倪绍祥. 居民地信息遥感提取方法比较研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(5): 319-321.
- [8] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [9] 陆灯盛, 游先祥. TM 图像的信息量分析及特征信息提取的研究[J]. 环境遥感, 1991, 6(4): 267-274.
- [10] 西北大学地理系. 陕西农业地理[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1979.
- [11] 陕西省农业勘察设计院. 陕西农业土壤[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1982.
- [12] 王秀兰. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展, 1999, 18(1): 81-87.
- [3] Mageau T, Costanza R, Ulanowicz R E. The development and initial testing of quantitative assessment of ecosystem health[J]. Ecosystem health, 1995, 1: 201-213.
- [4] 曾勇, 沈根祥, 黄沈发, 等. 上海城市生态系统健康评价[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(2): 208-212.
- [5] 王静, 尉元明. 甘肃省农业生态系统健康评价[J]. 生态学报, 2006, 25(6): 711-715.
- [6] 鲁绍伟, 刘凤芹, 余新晓, 等. 北京市八达岭林场森林生态系统健康性评价[J]. 水土保持学报, 2006, 20(3): 79-105.
- [7] 武兰芳, 欧阳竹, 唐登银. 区域农业生态系统健康定量评价[J]. 生态学报, 2004, 24(12): 2740-2748.
- [8] 中共甘肃省委研究室. 甘肃省情(第 1—2 部)[M]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1988, 1989.
- [9] 汤瑛芳, 王保福, 梁伟. 陇中黄土高原丘陵区建设水土保持型生态农业的经验及建议[J]. 甘肃农业科技, 2007(12): 26-29.
- [10] 肖风劲, 欧阳华. 生态系统健康及其评价指标和方法[J]. 自然资源学报, 2002, 17(2): 204-209.
- [11] 王寿兵. 传统生态多样性指数问题[J]. 复旦大学学报, 2003, 42(6): 867-874.
- [12] 郑元润, 周广胜. 基于 NDVI 的中国天然森林植被净第一性生产力模型[J]. 植物生态学报, 2000, 24(1): 9-12.
- [13] 孟庆香. 基于 RS、GIS 和模型的黄土高原生态环境质量综合评价[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2006.
- [14] 任志远, 李晶. 陕南秦巴山区植被生态功能价值测评[J]. 地理学报, 2003, 58(4): 505-511.
- [15] 徐新晓, 牛健植, 关文彬, 等. 景观生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [16] 梁文举, 武志杰, 闻大中. 21 世纪初农业生态系统健康研究方向[J]. 应用生态学报, 2002, 18(8): 1022-1026.

(上接第 208 页)