

基于 RS 和 GIS 的生态环境质量综合评价与时空变化分析

——以湖北省秭归县为例

张彬¹,杨联安^{1*},向莹¹,姜晓清²,杜挺¹,宋英强¹,杨煜岑¹,王晶¹

1. 西北大学 城市与环境学院, 陕西 西安 710127

2. 四川师范大学 地理与资源科学学院, 四川 成都 610068

摘要: 基于 RS 和 GIS 的信息技术是快速、有效地评价区域生态环境的重要手段。利用秭归县 2002 年 TM 和 2013 年 OLI 遥感影像及提取的土地利用数据, 运用主成分分析法构建了生态环境质量综合评价模型, 该模型耦合了生物丰度指数、植被覆盖度指数、水体密度指数、土壤侵蚀指数和人类活动指数, 绘制了研究区生态环境质量的等级分布图, 同时利用生态环境质量变化的差值检测和生态等级的转移矩阵, 揭示了生态环境质量的时空变化特征。结果表明: 2002~2013 年秭归县的生态环境总体质量较好, 且不断改善, 质量等级优的面积比重由 2002 年的 59.24% 上升到 2013 年的 82.65%; 27.26% 的地区生态环境质量变好, 主要分布在河流外围的农耕地区, 仅有 6.09% 的地区生态环境质量变差, 主要分布在河流沿岸地和坡度变率大的土地利用过渡地带; 根据生态环境质量的转移动态分析表明, 生态等级转向优和良的面积, 占总共转移的 92.98%, 而转向差和较差的仅占总共转移的 0.48%。

关键词: 生态环境; 综合评价; 时空变化; RS; 秭归县

中图分类号: X826

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2016)01-0064-08

Integrated Evaluation of Eco-environmental Quality and Analysis on Temporal-spatial Variation Based on RS and GIS

- Taking Zigui County, Hubei Province of China as a case

ZHANG Bin¹, YANG Lian-an^{1*}, XIANG Ying¹, JIANG Xiao-qing², DU Ting¹, SONG Ying-qiang¹, YANG Yu-cen¹, WANG Jing

1. College of Urban and Environmental Science/Northwest University, Xi'an 710127, China

2. School of Geography and Resources Science/Sichuan Normal University, Chengdu 610068, China

Abstract: Information technology based on RS and GIS is an important method to evaluate the regional eco-environment quickly and effectively. An integrated evaluation model of eco-environment quality was built with spatial principle components analysis, coupled with the Landsat TM in 2002 and OLI image in 2013 and the land use data extracted from them in Zigui County. Also, the model integrated the indexes of biological abundance, FVC, water density, soil erosion and human activities. A grade distribution map of eco-environment quality in study area was drawn. Meanwhile, the temporal-spatial characteristics of eco-environment quality variation were revealed by detection of eco-environmental quality changes and transition matrix of ecological grade. The results showed that the general eco-environment quality of Zigui County was relatively good and constantly improving from 2002 to 2013. The proportion of areas with excellent grade rose from 59.24% in 2002 to 82.65% in 2013. The improvement areas of eco-environmental quality accounted for 27.26% of the whole study area, which were located mainly in the farming area around the river. Eco-environmental quality had become worse only in 6.09%, and they were located chiefly in the river banks and land use transition strip with high slope variation rate. According to the dynamic analysis of eco-environmental quality, areas whose ecological grade turned to excellent and good accounted for 92.98% of the whole shifted areas; areas that turned to poor and worse accounted for only 0.48%.

Keywords: Eco-environment; comprehensive evaluation; temporal - spatial variation; RS; Zigui County

快速、有效地评价区域生态环境质量及时空演变, 有助于客观认识区域生态环境的现状及其发展动态, 为制定区域经济发展规划和生态环境保护提供依据^[1,2]。遥感技术能够有效地反映生态系统要素的空间结构和质量特征^[3]。随着遥感和信息技术的快速发展, 遥感监测系统在基于不同时空尺度的生态环境评估中得到广泛的应用。基于 RS 和 GIS 的生态环境质量评价起步于 20 世纪 80 年代,

收稿日期: 2015-10-16

修回日期: 2015-11-23

基金项目: 教育部人文社会科学规划项目(10YJA910010); 陕西省农业科技攻关项目(2011K02-11); 西安市科技计划农业技术研发项目(NC1402,NC150201); 西北大学研究生自主创新项目(YZZ14013)

作者简介: 张彬(1991-),男,四川巴中人,硕士研究生,主要研究 3S 技术在生态中的应用. E-mail:westzbin@163.com

***通讯作者:** Author for correspondence. E-mail:yanglian@163.com

Smith W^[4]和 Meredith T 等基于 RS 和 GIS 探索了对坦桑尼亚 Batemi 河谷快速进行生态环境监测及评价的方法; Basso F^[5]等利用遥感数据和 GIS 对意大利南部的 Agri 流域进行生态环境敏感性评价; 左伟等^[6]基于 TM 影像实现了对土地覆被数据的提取, 并利用 GIS 分析了其时空变化的驱动力和生态环境效应; 刘瑞^[7]等建立了基于 RS 技术的县级区域环境质量评价模型; 徐涵秋^[8,9]、罗春^[10]等利用遥感指数对不同尺度区域进行了生态环境质量评价及动态监测。同时, 政府部门在 2006 年发布了《生态环境状况评价技术规范》^[11], 其中基于遥感技术的 EI 为生态环境质量评价提供了指导。综上所述, 学者们研究了从遥感数据及其辅助数据中提取生态评价因子, 实现对生态环境的质量评价。徐涵秋^[8]提出了完全基于遥感影像的遥感生态指数 (RSEI), 在一定程度实现了对生态环境的快速监测。刘瑞^[7]等建立的区域生态环境模型, 涵盖了影响生态环境的主要因子, 但对评价指标的定权方式存在主观性。以上研究为进一步对生态环境快速、准确、客观的进行评价奠定了基础。

在前人研究的基础之上, 针对生态环境评价中的一些不足, 选取位于生态敏感区的三峡大坝所在地——秭归县为研究对象, 通过遥感数字图像处理 and GIS 空间分析, 利用 2002 年的 TM 和 2013 年的 OLI 两期遥感影像提取 5 类生态评价因子, 通过主成分变换集成评价因子, 减少主观性对评价精度的影响, 建立遥感生态评价模型, 定量、客观地对秭归县的生态环境进行综合评价及变化监测。

1 研究区域概况

秭归县位于三峡库首地区, 地处 30°38'14"N~31°11'31"N 和 110°00'04"E~111°18'41"E, 属于长江西陵峡, 介于大巴山、巫山余脉和鄂西八面山坳的会合地带, 总体地势为西南高、东北低, 海拔为 51 m~2048 m。秭归县以山地丘陵为主, 其面积约占总面积的 80%, 土地利用以林地为主。秭归县属于亚热带大陆性季风气候, 年平均气温 17.9 °C, 年均降水量 1000.06 mm。全县国土面积 2427 km², 2013 年总人口 37.98 万, 城镇化率 35.09%。从三峡大坝建成以后, 其对三峡地区生态环境的影响受到人们的广泛关注, 秭归县在三峡大坝的影响范围之内, 因此有必要对其生态环境进行定量评价和变化分析。

2 基础数据与方法

2.1 基础数据与预处理

以秭归县 2002 年的 Landsat TM 和 2013 年的 OLI 的遥感影像 (图 1) 及 ASTER GDEM 数据 (图 2) 作为实验数据, 其空间分辨率均为 30 m, 影像成像时间均为 9 月, 遥感影像与 ASTER GDEM 数据均来源于中科院地理空间数据云网站。利用 ENVI5.1 软件分别提取 TM 和 OLI 影像的多光谱波段, 从 MTL 文件中提取遥感影像的多光谱子集。对遥感影像预处理主要包括辐射定标、大气校正、影像裁剪和影像解译, 利用 ENVI 软件的 Radiometric Calibration 工具进行辐射定标, 大气校正采用 FLAASH 模型, 影像解译采用支持向量机 (SVM) 的监督分类法^[12]; 利用 GIS 的栅格裁剪工具裁剪影像, 同时, 结合 Google Earth 中 10m 分辨率的 SPOT5 影像和中科院 2000 年 3 级分类标准的土地利用分类图, 通过目视解译对分类结果修正, 提取秭归县 2002 年和 2013 年一级分类土地利用数据, 其土地利用类型分别为林地、草地、水体、耕地、居民建设用地和未利用地。

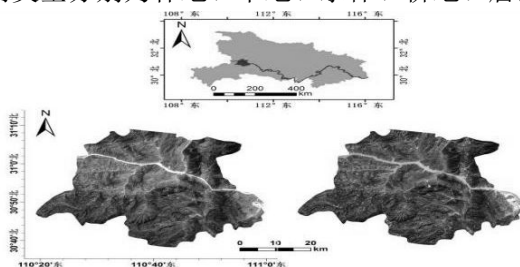


图 1 秭归县区位及 2002 TM 和 2013 OLI 遥感影像
Fig.1 The location and remote sensing images in Zigui County

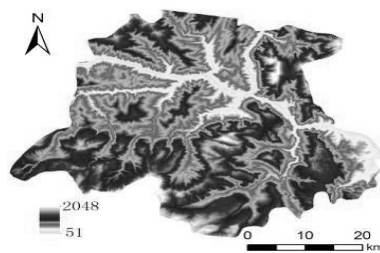


图 2 秭归县 DEM
Fig.2 DEM in Zigui County

2.2 研究方法

通过遥感影像及提取的土地利用数据, 计算生态评价指数, 并通过主成分变换集成各评价指数,

创建生态环境综合评价模型，分别计算 2002 年和 2013 年秭归县生态环境综合得分值并对其分级，再用遥感和 GIS 软件实现生态环境质量变化检测和生态级别的转移矩阵分析，揭示秭归县生态环境质量的时空变化特征。

2.2.1 构建生态环境评价指数 区域生态环境质量的影响因子包括自然因子和人文因子，是二者之间进行能量交换和物质循环的动态平衡系统^[13]。为实现对区域生态环境质量客观、定量地综合评价，构建生态环境评价指数需遵循科学性、区域性和数据的可获取性。以国家《生态环境状况评价技术规范》为基础，参考李妮娅^[14]、刘瑞^[7]、王鹏^[15]等研究成果，结合当地农业、林业、环境保护等实际情况，拟建 5 类生态环境评价指数，分别是生物丰度指数、植被覆盖度指数、水体密度指数、土壤侵蚀指数和人类活动指数。

2.2.1.1 生物丰度指数 生物丰度指数是指计算不同生态系统在单位面积内的生物物种的数量差异，从而反映了该区域的生物丰贫程度，是衡量生态环境质量的重要指数之一^[11]。根据《生态环境状况评价技术规范》和参考王鹏^[15]和孟岩^[16]等人的研究成果，为不同的土地利用类型赋予不同的权重值，再加权求和得到生物丰度指数。

表 1 生物丰度指数权重值

Table 1 Weighted values of biological abundance index

林地 Woodland	草地 Grassland	水体 Water	耕地 Farmland	居民建设用地 Construction land	未利用地 Wasteland
0.35	0.21	0.28	0.11	0.04	0.01

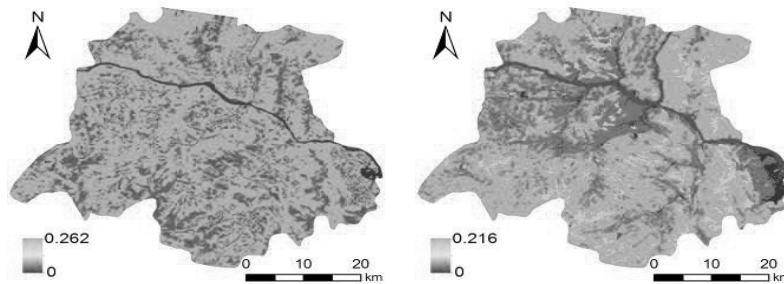


图 3 2002 和 2013 年秭归县生物丰度指数

Fig.3 Index of biological abundance in Zigui County

2.2.1.2 植被覆盖度指数 植被是生态系统的重要组成部分，对净化和保护生态环境有重要作用，植被覆盖度表征植被在生态系统中所占比重^[17]。植被覆盖度指数是指植被冠层或叶面垂直投影在地面的面积与统计区域总面积的比值，是表示地表植被覆盖情况的重要因子之一^[18]。植被覆盖度指数越大，其生态环境质量越好。归一化植被指数（NDVI）与地表植被覆盖度成正相关关系，因此采用 NDVI 和像元二分模型定量估算植被盖度^[18-20]（见图 4）。

$$F_c = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \times 100\% \tag{1}$$

式中， F_c 表示植被盖度指数， $NDVI$ 为像元归一化植被指数， $NDVI_{soil}$ 表示无植被或裸地的归一化指数， $NDVI_{veg}$ 为植被完全覆盖区的像元归一化指数。

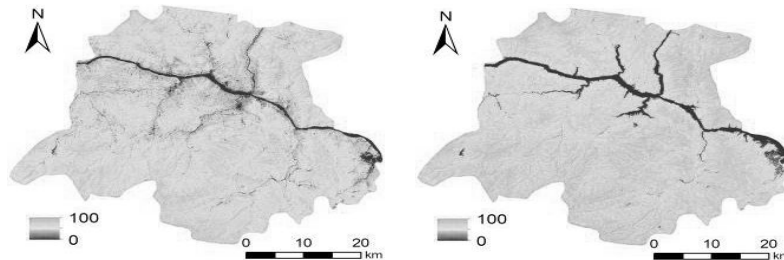


图 4 2002 和 2013 年秭归县植被覆盖度指数

Fig.4 Index of vegetation cover in Zigui County

2.2.1.3 水体密度指数 在土地利用变化中，水域的变化对区域生态系统服务价值变化的影响最大^[21]。首先将研究区划分成 1 km 的公里格网，通过计算单元网格内的水体面积与单元网格面积的比值，将其比值赋予该网格内的所有像元，得到该区域的水体密度指数（见图 5）。

$$W = S_w / S_g \tag{2}$$

式中, S_w 表示单元格内水体面积, S_g 表示单元网格面积。

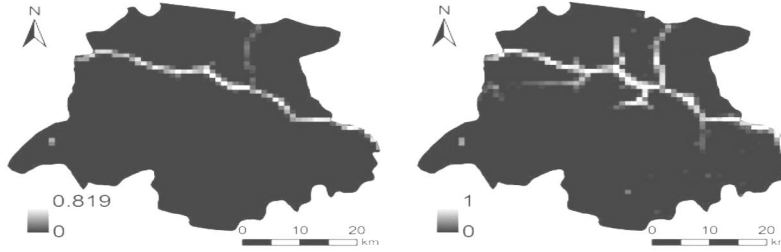


图 5 2002 和 2013 年秭归县水体密度指数
Fig.5 Index of water density in Zigui County

2.2.1.4 土壤侵蚀指数 土壤侵蚀强度与植被盖度紧密相关, 植被盖度越高, 土壤侵蚀强度递减趋势明显^[22]。同时, 坡度是影响土壤侵蚀最主要的地形因子。由 DEM 提取坡度, 再将坡度与植被盖度结合以快速评价土壤侵蚀程度。此方法估算土壤侵蚀强度已经有了一定的研究^[23,24]和应用^[7]。土壤侵蚀程度具体分为 6 级 (表 1)。从表 1 可知, 任意植被覆盖度和坡度 < 5°, 土壤表面以微度侵蚀为主或无明显侵蚀现象; 坡度为 5°~8°时和植被盖度小于 30%, 土壤表面产生明显的水土侵蚀现象; 坡度位于 8°~15°之间, 土壤表面以中轻度侵蚀为主; 坡度为 15°~25°时, 植被盖度 < 30%, 土壤侵蚀强烈; 坡度 > 25°和植被盖度 < 45°, 土壤表面产生极强和剧烈的侵蚀现象。为了对土壤侵蚀程度进行定量化研究, 将土壤侵蚀强度分别赋予不同的权值^[7], 微度 (0.005)、轻度 (0.025)、中度 (0.070)、强度 (0.1)、极强 (0.3) 和剧烈 (0.5), 获得秭归县土壤侵蚀指数 (图 6)。

表 1 土壤侵蚀程度分级表
Table 1 The grades of soil erosion

植被覆盖度 (%) Vegetation coverage	坡度 (°) Slope					
	<5	5~8	8~15	15~25	25~35	>35
>75	微度	微度	微度	微度	微度	微度
60~75	微度	轻度	轻度	轻度	中度	中度
40~60	微度	轻度	轻度	中度	中度	强度
30~45	微度	轻度	中度	中度	强度	极强
<30	微度	中度	中度	强度	极强	剧烈

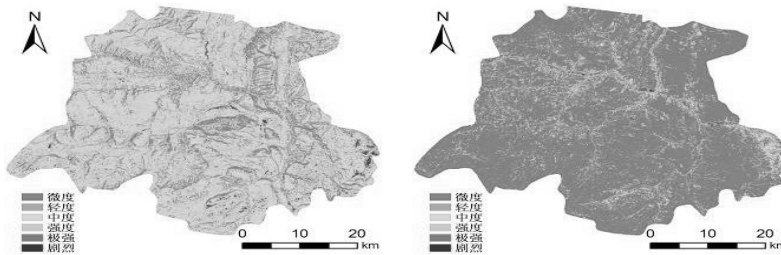


图 6 2002 和 2013 年秭归县土壤侵蚀指数
Fig.6 Index of soil erosion in Zigui County

2.2.1.5 人类活动指数 人类活动创造了城市生态系统和农业生态系统, 不同生态系统的分布, 是人类活动对自然界的反映^[25]。人类活动对不同系统创造越成熟, 自然生态环境状况越差, 而土地利用类型即为不同生态系统的反映^[26]。人类活动指数是指人类干扰强度, 人类活动对不同土地利用类型的干扰度不同, 干扰度越大则生态环境越差, 依据此原则对各种土地利用类型分别赋予的权值为居民建设用地 30、耕地 53、未利用地 65、水体 78、草地 85 和林地 90^[7] (图 7)。

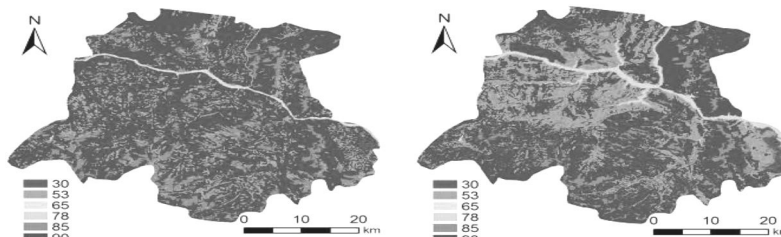


图 7 2002 和 2013 年人类活动指数
Fig.7 Index of human activities in Zigui County

2.2.2 构建生态评价综合指数 构建的生态指数分别在一定程度反映生态环境质量，如何科学地选取综合评价方法对单一指标进行耦合，是对生态环境进行客观、准确评价的关键。由于通过指标加权求和得到的结果，在很大程度上受到人为因素的影响，同时不能反映多个因子对生态环境变化的主导因子。为了客观地对生态环境进行评价，采用多元统计方法中的主成分分析，构建生态评价综合指数模型。主成分分析是把数据中多个变量转化为少数几个综合指标的统计分析方法，通过正交线性函数在允许的精度范围内对多个指数进行降维处理^[27]，公式如下：

$$\begin{cases} z_1 = l_{11}x_1 + l_{12}x_2 + \dots + l_{1p}x_p \\ z_2 = l_{21}x_1 + l_{22}x_2 + \dots + l_{2p}x_p \\ \dots\dots\dots \\ z_m = l_{m1}x_1 + l_{m2}x_2 + \dots + l_{mp}x_p \end{cases} \quad (3)$$

$$F = \lambda_1 z_1 + \lambda_2 z_2 + \dots + \lambda_m z_m \quad (4)$$

式 (3) 和 (4) 中： z_1, z_2, \dots, z_m 分别为原变量指标的 x_1, x_2, \dots, x_p 经过主成分变换后的第一，第二，...，第 m 主成分。 l_{ij} 为各主成分特征值，可通过原来变量的相关系数矩阵的单位化特征向量构成的正交矩阵计算得到。 F 为综合指数， λ 为相对应的主成分贡献率。此方法的优点是通过每个指标对主成分的贡献率来确定该指标的权重值，从而减少人为因素对研究结果造成的偏差。

3 结果分析

3.1 生态环境质量综合评价

3.1.1 主成分的界定及其载荷 首先，分别对 2002 年和 2013 年的 5 个评价指数进行主成分分析，表 2 为研究区两个年份的主成分分析结果。主成分的方差累计贡献率越大，表示其信息的综合集成能力越强，是影响生态环境质量的主导因子。

表 2 两期生态指数主成分分析
Table 2 Principle component analysis of five indices

年份 Years	指数 Index	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
2002	植被盖度	0.40439	0.91458	0.00332	0.00101	0.40439
	水网密度	-0.00105	-0.00328	0.99498	0.09727	-0.00105
	生物丰度	0.00553	-0.00316	-0.02546	0.02135	0.00553
	人类活动	0.91457	-0.40438	-0.00014	-0.00086	0.91457
	土壤侵蚀	0.00037	-0.00090	-0.09673	0.99503	0.00037
	特征值	115.1625	73.1410	0.0028	0.0026	115.1625
	特征值贡献率 (%)	61.156	38.8408	0.0015	0.0014	0.0004
2013	植被盖度	0.55976	0.82863	0.00659	-0.00030	0.00106
	水网密度	-0.00286	-0.00601	0.99991	-0.00467	-0.01056
	生物丰度	0.00487	-0.00361	-0.00466	-0.99997	0.00133
	人类活动	0.82864	-0.55975	-0.00096	0.00606	-0.00008
	土壤侵蚀	-0.00056	-0.00098	0.01056	0.00128	0.99994
	特征值	197.6781	104.8479	0.0054	0.0007	0.0002
	特征值贡献率 (%)	65.3411	34.6568	0.0018	0.0002	0.0001

从表 2 可知，两个年份的 PC1 的特征值贡献率均大于 60%，表明 PC1 集中了 5 类因子的大部分特征，两个时间断面的 PC1 和 PC2 能够解释方差总数的 95% 以上，因此界定为第一、二主成分，用于生态环境的综合评价。PC1 主要反映了植被覆盖度和人类活动指数，PC2 主要反映了植被覆盖度指数，表明植被和人类活动对生态环境质量影响大，PC1 和 PC2 中的植被盖度指数的特征向量均为正值，表明对研究区生态环境起正面作用，而水网密度的特征向量均为负值，表示其对生态环境有负面效应，这与实际情况相符合。因此，由第一和第二主成分所对应的特征向量，计算得到主成分载荷，用于计算主成分的综合得分。

3.1.2 生态环境质量综合评价及分级 生态环境质量综合指数能够反映生态环境的优劣，其值越大反映生态环境质量越好。根据主成分的载荷和 GIS 软件，分别计算秭归县 2002 年和 2013 年的生态环

境综合得分。为了便于两个时间断面的比较,统一利用线性函数拉伸到[0,100],并参照规范把结果分为五个生态级别,分别为优[75,100]、良[55,75]、一般[35,55]、较差[20,35]、差[0,20]。“优”代表该地区的生态环境质量好,植被覆盖度高,人类对自然环境的破坏程度低,适宜人类居住;“良”表示此地植被覆盖度较高,生物多样性丰富,适合人类生活;“一般”代表该地植被覆盖中等,较适合人类生存,但会出现对人类生活产生制约性的因子;“较差”表示此地植被覆盖较差,存在明显限制人类生活的因素;“差”代表该区域的生态环境条件恶劣,生态系统不稳定,不适宜人类生存。根据分级标准和生态环境质量综合得分值,获得 2002 年和 2013 年秭归县生态环境质量等级分布图(图 8)。

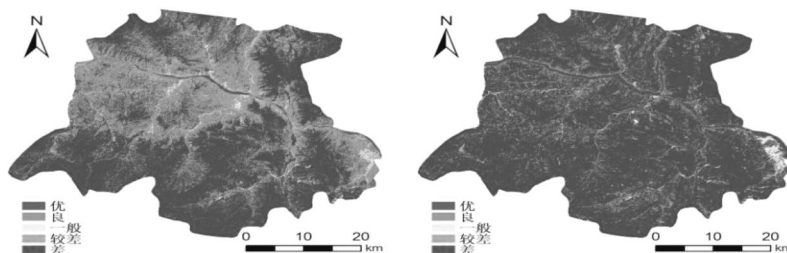


图 8 生态环境质量的等级分布图

Fig.8 The grade distribution map of eco-environmental quality

从图 8 可知,秭归县在 2002 年和 2013 年生态环境质量均较好,大部分地区的生态等级处于“优”和“良”。同时结合各生态指数的空间分布情况,2002 年秭归县生态环境质量优的区域主要分布土地覆被为森林和一部分草地地区;质量良的地区则主要分布在人类活动区域与森林的过渡地带,受人类活动影响小;其生态环境质量一般的区域集中人类活动密集地,如县城和零星小镇,人类生活及其生产活动对地表覆被破坏程度大;其生态环境较差和差的地区主要分布在河流流经的沿岸地区,因该地带的坡度大,土壤侵蚀严重,植被生长条件差。2013 年秭归县的大部分地区生态环境质量优,植被覆盖率的提高和土地利用格局的优化,生态环境质量得到明显改善;其生态环境质量良、一般和较差的分布区域所占面积小,并且空间分布零散;其质量差的分布区域的面积变大,因三峡蓄水后,流域面积扩大,土壤侵蚀较严重,造成生态环境变差。

3.2 生态环境质量的时空变化分析

3.2.1 生态环境质量变化的总体概况 根据图 8 和生态环境质量综合得分值,相比 2002 年,2013 年秭归县的生态环境的总体质量得到提升。2002 年生态环境质量综合得分的最大值 648.351,最小值 1.598;2013 年秭归县的综合得分最高值 918.855,最低值 0.732,相比 2002 年总体提高 41.72%,但局部地区的生态环境质量下降。从划分的生态等级角度,统计结果表明(见表 3)在 2013 年“差”等

表 3 秭归县的生态级别面积和比例

Table 3 The area and percentage of eco-environment in Zigui County

生态环境质量等级 Grades of eco-environment	2002		2013	
	面积 (km ²) Area	百分比 (%) Percentage	面积 (km ²) Area	百分比 (%) Percentage
差	20.6361	0.93%	70.254	3.06%
较差	16.5978	0.75%	10.0332	0.44%
一般	43.956	1.97%	29.2725	1.27%
良	826.1694	37.11%	289.1709	12.58%
优	1318.811	59.24%	1899.205	82.65%

级的面积占总面积的百分比为 3.06%,相比 2002 年增加了 2.13%;“较差”等级所占比重为 0.44%,较 2002 年比重下降 0.31%;“一般”等级和“良”等级所占比重在 2013 都有所下降,分别为 0.7%和 24.53%;“优”等级的面积比重为 82.65%,相比于 2002 年增加了 23.41%。因此,秭归县的生态环境质量的生态等级总体为优良,并逐渐向优的方向发展。

3.2.2 生态环境质量变化检测 利用 RS 和 GIS 相结合可以实现对同一地区在不同时间的生态环境变化监测,同时具有快速和可视化强的优点。依据 2 个年份的生态环境质量等级分布图,利用 GIS 软件对秭归县的生态环境质量进行差值变化检测。从图 9 和表 4 分析可知,从 2002 年到 2013 年秭归县生态环境质量变差的面积为 135.504 km²,仅占了总面积的 6.09%,生态环境质量得到改善的地区面积为 606.76 km²,占了总面积的 27.26%,表明其生态环境质量得到大幅度提升。从图 9 可知,生

态环境质量变差的地区集中在河流沿岸，坡度大的土地利用过渡地带及一些新增的居民建设用地。质量变好的地区集中在河流外围的农耕地区，而质量不变区域则集中在秭归县边缘的植被覆盖率高的一些零碎地区。

表 4 生态环境质量变化检测

Table 4 Detection for eco-environmental quality change

类别 Classes	级差 Range	级面积/km ² Area in grade	类面积/km ² Area in class
变差	-4	3.2436	135.504
	-3	26.559	
	-2	17.3016	
	-1	88.3998	
不变	0	1483.77	1483.77
	1	601.426	
变好	2	5.2128	606.76
	3	0.1197	
	4	0.0018	

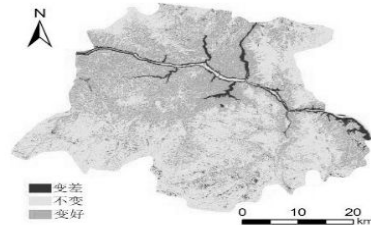


图 9 秭归县生态环境质量变化检测图
Fig.9 Detection map of eco-environmental quality change in Zigui County

3.2.3 生态环境质量的转移动态分析 为了揭示秭归县生态环境质量的时空变化特征，利用 GIS 的空间分析工具，通过对 2 个年份的生态等级分布图叠加并计算，而获得秭归县的生态环境质量等级转移矩阵（表 5）。从表 5 可知，生态环境等级差的地区主要向较差等级转移，占该等级总共转移的 81.01%，表明该等级的生态环境质量得到一定程度地改善，而转移到其它三等级的较少；生态等级较差的地区主要转移到一般和良，分别占该等级总共转移的 56.41%和 36.50%；等级一般的区域，主要转移到良等级，占了该等级总共转移的 76.74%；生态等级为良的地区主要转移为优，占了该等级总共转移的 92.73%；等级为优的区域主要转移到良，占该等级总共转移的 90.21%。同时，生态等级转向优和良等级的面积，占总共转移面积的 92.98%，而转向差和较差等级则只占总共转移面积的 0.48%。综上所述，秭归县生态环境从 2002 年开始生态环境质量逐年得到改善，其生态环境质量主要向优和良的等级发展，仅有局部地区生态环境变差。

表 5 2002~2013 年秭归县生态环境质量等级转移矩阵 (km²)

Table 5 Grade transfer matrix of eco-environmental quality in Zigui County from 2002 to 2013

等级 Classes	差 Poor	较差 Poorer	一般 Common	良 Good	优 Excellent
差	0.004	0.038	0.619	1.665	0.294
较差	0.064	0.259	1.318	4.929	0.817
一般	0.009	0.493	2.707	5.482	0.838
良	0.004	0.319	10.047	107.513	17.973
优	0.002	0.024	1.108	154.090	155.937

4 讨论

根据综合评价和时空变异分析表明，从 2002~2013 年，秭归县的大部分地区生态环境质量均属于“优”和“良”，并逐渐向优的方向发展，但局部地区生态环境质量变差。2002 年生态环境质量好的区域分布在南部地区，质量差的地区主要分布在河流沿岸，其研究结果与汪善勤^[28]等人的成果具有一致性。2013 年该县生态环境质量优于 2002，前期与三峡大坝的修建、移民工程等对地表植被的破坏有关，后期政府大量开展植树造林活动和实施生态环境保护项目等，恢复了当地的植被覆盖率，增加了生物多样性，使生态环境得到明显改善，仅有河流沿岸的生态环境变差，与水网密度变化引起的一系列环境问题有关。研究区生态环境质量与植被盖度、水网密度、生物丰度、人类活动和土壤侵蚀 5 类因子息息相关，植被盖度在 PC1 和 PC2 中的特征向量均为正值，表明对生态环境起正面效应，当地政府应在三峡水库建成后大量植树造林，恢复植被覆盖率，强化其水土保持作用，同理，水网密度对生态环境起着负面效应，应加强对水流的引导，修建沟壑、水坝等水利工程，减少水土流失。生态环境质量变好区域集中在河流的外延区域，因当地改善了灌溉条件，大力发展生态农业，开发清洁能源和建设生态村镇等，质量变差区域集中在河流沿岸地区，其水库的修建改变了当地的水文条件和微地形，植被盖度降低和城市人口增加等。秭归县生态环境总体向优和良发展，过去 10 年当地政府的生态修复措施改善了生态环境。研究结果为当地制定环境保护政策提供科学依据，但

由于数据、技术和时间的限制,提取的生态评价因子及构建的生态环境质量综合评价模型仍存在一些不足。同时,也没有对生态环境质量变化的驱动力因子深入探讨及对策研究,因此在未来的研究中,将加强这些方面的研究。

5 结论

利用 2002 年和 2013 年的遥感影像及其提取的土地利用数据,运用主成分变换集成评价指数,构建生态环境质量综合评价模型,对秭归县生态环境进行综合评价,并利用差值检测和生态等级转移矩阵,进一步揭示生态环境质量的时空变化特征。结果表明:(1)在 RS 和 GIS 技术的支持下,运用主成分变换集成生态评价指数,依据评价指数对生态环境质量的贡献率为权重,减少了主观性因素对评价准确度的影响。从主成分分析结果可知,PC1 和 PC2 保持了原来 95% 以上的信息,当地生态环境主要受植被盖度和人类活动指数的影响。

(2)在 2013 年秭归县的生态环境质量处于“优”的区域占总面积的 82.65%,相比 2002 年增加了 23.41%,表明秭归县的生态环境逐渐得到恢复,与当地生态环境状况的实际相吻合。但生态环境质量等级处于“差”的区域占总面积的比重也从 0.93% 上升到 3.06%,表明局部地区生态环境质量变差,河流沿岸的土壤侵蚀严重,应做好水土保持工作。

参考文献

- [1] 王顺久,李跃清.投影寻踪模型在区域生态环境质量评价中的应用[J].生态学杂志,2006,25(7):869-872
- [2] 王宏伟,张小雷,乔木,等.基于 GIS 的伊犁河流域生态环境质量评价与动态分析[J].干旱区地理,2008,31(2):215-221
- [3] 滕明君,曾立雄,肖文发,等.长江三峡库区生态环境变化遥感研究进展[J].应用生态学报,2014,25(12):3683-3693
- [4] Smith, W, Meredith TC, Johns, T, *et al.* Exploring methods for rapid assessment of woody vegetation in the Batemi Valley, North-central Tanzania[J]. Biodiversity & Conservation, 1999, 8(4):447-470
- [5] Basso F, Bove E, Dumontet S, *et al.* Evaluating environmental sensitivity at the basin scale through the use of geographic information systems and remotely sensed data: an example covering the Agri basin (Southern Italy)[J]. Catena, 2000,40(1):19-35
- [6] 左伟,陈洪玲,王桥,等.基于遥感的山区县域土地覆被变化的驱动力因子和生态环境效应分析——以重庆市忠县为例[J].山地学报,2004,22(2):240-247
- [7] 刘瑞,王世新,周艺,等.基于遥感技术的县级区域环境质量评价模型研究[J].中国环境科学,2012,32(1):181-186
- [8] 徐涵秋.城市遥感生态指数的创建及其应用[J].生态学报,2013,33(24):7853-7862
- [9] 徐涵秋.区域生态环境变化的遥感评价指数[J].中国环境科学,2013,33(5):889-897
- [10] 罗春,刘辉,戚陆越.基于遥感指数的生态变化评估——以常宁市为例[J].国土资源遥感,2014,26(4):145-150
- [11] 国家环境保护总局.Hj/T192-2006 生态环境状况评价技术规范(试行)[S].北京:中国环境科学出版社,2006
- [12] Poursanidis D, Chrysoulakis N, Mitra Z. Landsat 8 vs. Landsat 5: a comparison based on urban and peri-urban land cover mapping[J]. International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation, 2015,35:259-269
- [13] 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
- [14] 李妮娅,唐瑶,杨丽,等.基于遥感技术的白水河流域生态环境质量现状研究[J].华中师范大学学报:自然科学版,2013,47(1):103-107
- [15] 王鹏,魏信,乔玉良.多尺度下汾河流域生态环境质量评价与时序分析[J].遥感技术与应用,2011,26(6):798-807
- [16] 孟岩,赵庚星,程晋南,等.基于 MODIS 遥感数据和 GIS 的山东省生态环境状况评价[J].中国生态农业学报,2008,16(4):1020-1024
- [17] 刘广峰,吴波,范文义,等.基于像元二分模型的沙漠化地区植被覆盖度提取——以毛乌素沙地为例[J].水土保持研究,2007,14(2):268-271
- [18] 盖永芹,李晓兵,张立,等.土地利用/覆被变化与植被盖度的遥感监测——以北京市密云县为例[J].资源科学,2009,31(3):523-529
- [19] 马娜,胡云锋,庄大方,等.基于遥感和像元二分模型的内蒙古正蓝旗植被覆盖度格局和动态变化[J].地理科学,2012,32(2):251-256
- [20] 王冬梅,孟兴民,邢钊,等.基于 RS 的武都区植被覆盖度动态变化及其驱动力分析[J].干旱区资源与环境,2012,26(11):92-97
- [21] 彭文甫,樊淑云,周介铭.基于遥感和 GIS 的土地利用变化对生态服务价值的影响[J].中国农学通报,2014,30(5):195-202
- [22] 卢玉东,尹光志,熊有胜,等.应用 TM 图像分析重庆南川市土壤侵蚀与植被覆盖度的关系[J].南京农业大学学报,2005,28(4):72-75
- [23] 卫亚星,王莉雯,刘闯.基于遥感技术的土壤侵蚀研究现状及实例分析[J].干旱区地理,2010,33(1):87-92
- [24] 谭炳香,李增元,王彦辉,等.基于遥感数据的流域土壤侵蚀强度快速估测方法[J].遥感技术与应用,2005,20(2):215-220
- [25] 伍光,田连恕,胡双熙,等.自然地理学[M].北京:高等教育出版社,2000
- [26] 孟岩,赵庚星.基于卫星遥感数据的河口区生态环境状况评价——以黄河三角洲垦利县为例[J].中国环境科学,2009,29(2):163-170
- [27] 林海明,张文霖.主成分分析与因子分析的异同和 spss 软件[J].统计研究,2005(3):65-69
- [28] 周勇,张海涛,R.V.Bimin,等.土壤资源与生态环境数据库的建立及应用——以三峡库区秭归县为例[J].土壤学报,2002,39(5):653-663