

1990—2015 年贵州省乌江流域生态环境质量变化评价

芦颖, 李旭东, 杨正业

(贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要: [目的] 通过对贵州省乌江流域生态环境质量动态变化特征分析, 为山地流域生态可持续发展及长江流域水环境生态文明建设等提供参考。[方法] 基于 1990, 2000 及 2015 年 3 期 Landsat 系列遥感影像和 ASTER GDEM 数据提取贵州省乌江流域植被盖度、土壤指数、土壤湿度等基础数据, 利用专家咨询法确定各指标权重并构建综合指数评价模型后对贵州省乌江流域生态环境质量时空变化特征展开分析。[结果] ① 1990—2015 年间贵州省乌江流域生态环境质量以“优”、“良”为主, 占比超过 65%, 总体生态环境质量呈上升趋势。② 3 期数据表明贵州省乌江流域生态环境质量空间差异逐渐增大, 生态环境改善地区主要分布于乌江下游, 生态环境退化地区主要集中于乌江中上游, 总体生态环境质量表现为下游优于中上游。③ 研究区生态环境质量受城市化水平影响较大, 25 a 间研究区内各州市主城区生态环境质量下降明显, 主要受建成区面积增加影响。[结论] 高精度长时段的生态环境质量评价能很好反映区域生态环境质量变化特征。未来应进一步加强贵州省乌江流域中上游生态环境治理, 尤其注重引导研究区内各州市城市化进程与生态环境协调可持续发展。

关键词: 生态环境质量; 植被盖度; 土壤指数; 坡度; 乌江流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)02-0140-07

中图分类号: K921

文献参数: 芦颖, 李旭东, 杨正业. 1990—2015 年贵州省乌江流域生态环境质量变化评价[J]. 水土保持通报, 2018, 38(2): 140-146. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2018. 02. 023. Lu Ying, Li Xudong, Yang Zhengye. Evaluation on eco-environmental quality change of Wujiang River basin in Guizhou Province from 1990 to 2015[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(2): 140-146.

Evaluation on Eco-environmental Quality Change of Wujiang River Basin in Guizhou Province from 1990 to 2015

LU Ying, LI Xudong, YANG Zhengye

(School of Geography and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550025, China)

Abstract: [Objective] To analyze the dynamic characteristics of ecological environment quality in Wujiang River basin of Guizhou Province in order to provide reference for ecological sustainable development in mountainous basins and ecological civilization construction in the water environment of Yangtze River basin. [Methods] Landsat in 1990, 2000 and 2015 and ASTER GDEM data were used to extract the basic data of vegetation coverage, soil index and soil moisture in Wujiang River basin of Guizhou Province. The weight of each index was determined by expert consultation method. The spatial and temporal changes of ecological environment quality in Wujiang River basin of Guizhou Province were analyzed by comprehensive index evaluation model. [Results] ① During the period from 1990 to 2015, the qualities of ecological environment in Wujiang River basin of Guizhou Province were mainly in “excellent” and “good” levels, accounting for more than 65%. The overall ecological environment quality was showed an upward trend. ② The data show that the spatial differences of ecological environment quality in Wujiang River basin of Guizhou Province were gradually increased, and the ecological environment improvement areas were mainly distributed in the lower

收稿日期: 2017-09-21

修回日期: 2017-11-21

资助项目: 国家自然科学基金项目“西南山地流域城市化与生态环境的耦合关系研究”(41261039); 贵州省科学技术基金资助项目(黔科合 J 字[2009]2253 号)

第一作者: 芦颖(1993—), 女(汉族), 安徽省淮南市人, 硕士研究生, 研究方向为人口与城市化与低碳生态。E-mail: 1827347117@qq.com。

通讯作者: 李旭东(1969—), 男(汉族), 湖南省邵东市人, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要从事人口与城市化方向研究。E-mail: 616507732@qq.com。

reaches of Wujiang River. The degraded areas of ecological environment were mainly concentrated in the upper and middle reaches of Wujiang River. The quality of ecological environment showed that the downstream was better than the middle and upper reaches. ③ The quality of ecological environment in the study area was greatly affected by the level of urbanization, and the ecological environment quality of the main urban areas in the study area decreased significantly during the past 25 years, which was mainly affected by the increase of the built-up area. [Conclusion] The high-precision and long long-term evaluation of ecological environment quality can well reflect the changing characteristics of regional ecological environment quality change. In the future, we should further strengthen the ecological environment management in the middle and upper reaches of the Wujiang River basin in Guizhou Province, with particular emphasis on guiding the coordinated development of the urbanization process and ecological environment in the cities and counties in the study area.

Keywords: ecological environment-quality; vegetation cover; soil index; slope; Wujiang River basin

生态环境质量评价是定量测评区域生态环境优劣和影响的重要手段,是制定区域社会经济可持续发展规划及生态环境保护对策的重要依据^[1]。流域因其独有的生态价值、环境功能一直倍受各国重视,定量研究流域生态环境质量及其演变趋势,对协调流域经济社会可持续发展,优化流域生态环境功能,加强流域生态系统保护和恢复具有现实意义^[2]。国外研究主要从不同尺度运用不同衡量标准构建生态环境评价指标体系^[3-7],中国生态环境质量评价起步于 20 世纪 80 年代早期,主要集中于构建相关指标体系进行评价^[8-9],后由于遥感与地理信息系统手段具有准确、及时、丰富等优点,其在生态环境质量评价领域的运用也日趋频繁^[10]。如学者魏伟^[11]、凡宸^[12]、王鹏^[13]、张春桂^[14]等运用 RS 和 GIS 手段对流域、县域等不同尺度研究对象展开了相应研究。乌江作为贵州省重要生态屏障,全国国土资源重点开发区之一,流域内生态环境基底薄弱。域内多低山丘陵,喀斯特地貌发育广泛,水土流失、石漠化问题十分显著^[15]。近几年针对乌江流域的研究主要集中于生态安全度变化评价^[15]、生态系统服务分布特征^[16]、水质变化^[17]等方面,以及对乌江流域整体生态环境质量的研究还有待补充。为此,本文基于遥感影像提取的乌江流域植被覆盖、水热条件、土壤类型、地形地貌等方面信息,对贵州省乌江流域 25 a 内生态环境质量动态变化进行分级和评价,从而为乌江流域综合治理及流域规划保护提供了可持续发展依据,为山地流域地区生态环境可持续发展及长江流域水环境生态文明建设研究提供相应参考。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

乌江又称黔江、涪水,全长 1 050 km,发源于贵州省西部高原乌蒙山脉东麓威宁县境内,后在重庆涪

陵注入长江,是长江上游右岸最大支流。乌江流域(104°10′—109°12′E,25°56′—30°22′N)地势由西南向东北倾斜,地形以高原、山原、中山及低山丘陵为主,东西向高差大。流域内 75.6%的地区为喀斯特地貌^[18],属于典型生态环境脆弱区。其中贵州境内流域面积为 67 500 km²,占总流域面积的 76.79%^[19]。贵州省乌江流域存在人口较为集中,人地矛盾突出,经济社会快速发展,资源开发强度大,面源污染较多等问题。作为贵州省重要的经济动脉和能源基地的乌江流域是沿岸经济社会发展的生命通道和生产生活的重要保障,也是确保长江水资源安全的重要区域。近年来,贵州省乌江流域各地区加大生态环境保护,如铜仁市沿河县积极开展乌江流域水土流失和水土保持综合治理工作,2015 年实现乌江流域森林覆盖率 56.09%,退耕还林 9.41×10³ hm²,石漠化造林面积 5.59×10³ hm²。

1.2 数据来源

研究以贵州省乌江流域 Landsat 系列陆地卫星遥感影像为主要数据,选取 1990、2000 和 2015 年 3 期 7 景数据(分辨率 30 m)拼接裁剪而成,成像时间主要集中于夏半年。基础数据包括乌江流域矢量边界、ASTER GDEM 数据(分辨率 30 m)。其中遥感影像数据和 ASTER GDEM 数据来源于地理空间数据云(<http://www.Gscloud.cn/>)。经过几何纠正、辐射定标、大气纠正、波段合成、拼接、裁剪等预处理,采用 Albers 等面积圆锥投影方式,利用 ENVI 5.3 和 Arc GIS 10.2 软件提取相关生态环境数据,归一化处理后对乌江流域生态环境质量等级进行划分。

1.3 研究方法

科学合理构建生态环境质量评价体系是本研究的重要内容,但目前尚未形成统一的生态环境质量遥感评价方法。魏伟等^[11]学者基于土地利用、植被指数、气温降水等因素对石羊河流域生态环境质量展开

评价。易武英等^[15]学者基于土地利用和景观格局变化对乌江流域生态安全状况进行了分析。李洪义等^[20]学者认为植被、水热、地形等因素是构成生态环境的基本要素,选取植被指数、湿度指数、土壤亮度指数、地形指数作为福建省生态环境的评价指标。贵州省乌江流域喀斯特地貌发育明显,水土流失、石漠化等问题致使其流域生态环境更为脆弱,故自然因素对流域生态环境质量评价作用更为明显。结合乌江流域的特殊环境,梳理前人研究成果和经验,选取植被、水热、土壤、地形 4 大要素构建贵州省乌江流域生态环境质量评价指标。

1.3.1 基础指标数据提取 各基础指标及数据提取方法包括:①植被指数。区域植被可反映区域生态环境整体作用的结果^[20],因此植被被认为是区域生态环境状况的指示要素。遥感应用中植被指数作为定量评价植被覆盖和生长情况的重要指标^[21],应用十分广泛。研究选取目前应用较为广泛的归一化植被指数(NDVI)、穗帽变换提取的绿色指数(GVI)以及基于像元二分模型反演得到的植被盖度指数(VC)^[20,22-24],提取方法或公式见表 1。②土壤指数。穗帽变换(tasseled cap, TC)是获取土壤指数与湿度指数的必要手段,其原理是通过线性变化、旋转方法有效分离植被和土壤光谱特征多维光谱空间,其优点在于减少繁杂数据量的同时信息损失最小^[25]。穗帽变换在植被监测、土地覆盖变化监测等领域应用广泛^[26],穗帽变换后的第 1,2,3 分量依次为亮度指数(BI)、绿色指数(VI)和湿度指数(WI)。采用亮度指

数反映地表裸露程度,绿色指数可监测地表植被变换。同时引进学者刘存建、刘纪远总结的裸土植被指数(GRABS),利用线性表达式经波段计算得出土壤指数来反映研究区土壤质量。提取方法或公式详见表 1。③湿度指数。土壤湿度是反映水文、农业、气象信息的主要指标,也是进行生态环境研究的重要指标。缨帽变换所获取的湿度指数(WI)可反映地表水体、植被和土壤的湿度状况,有利于生态环境质量的快速评价,因此研究选取穗帽变换所得的第 3 分量作为湿度指数。湿度指数往往与植被覆盖紧密相连,选取湿度指数以便衡量区域水分条件。提取方法或公式详见表 1。④热度指数。地表温度(LST)与植物的生长与分布、地表水资源蒸腾散发等密切相关,是反映生态环境质量的一个重要参数。对于 Landsat 系列数据,利用热红外波段经辐射定标后可得到的辐射亮度,进而推算得到的亮度温度作为地表相对温度^[27-28],根据地物的辐射差异反映不同区域地表温度类型。提取方法或公式见表 1。⑤地形指数。邓慧平等^[29]学者在考察地形指数的物理意义时指出地形指数与土壤相对含水量成一定线性关系,因此地形指数空间分异可反映流域内土壤饱和缺水量的空间分布,是生态环境评价的重要参考要素。综合前人研究基础选取了数字高程数据(DEM)和坡度作为地形指数指标,其中数字高程数据为地理空间数据云下载的 GDEMDEM 数据(分辨率 30 m),坡度数据在 Arc GIS 软件中利用 SLOPE 命令提取,栅格大小为 30 m。提取方法或公式详见表 1。

表 1 贵州省乌江流域生态环境综合评价指标体系

影响因子	评价指标	细化指标	数据来源	提取公式或获取方法
植被	植被指数	NDVI	遥感数据	$NDVI = [\rho(NIR) - \rho(RED)] / [\rho(NIR) + \rho(RED)] = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$
		GVI	遥感数据	穗帽变换第二分量
		VC	遥感数据	$VC = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil})$
土壤	土壤指数	GRABS	遥感数据	$GRABS = VI - 0.09178 * BI + 5.58959$
		湿度指数	遥感数据	穗帽变换第三分量
水热条件	地表热度	LST	遥感数据	TM6 处理
		DEM	DEM 数据	原始 DEM 影像响裁剪
地形	地形指数	SLOPE	DEM 数据	Arc GIS10.2 软件 SLOPE 分析

1.3.2 综合评价模型构建

(1) 评价模型构建。在生态环境质量综合评价中,构建综合评价模型是生态环境评价的重点和难点。目前常用的方法有指标权重法、层次分析法 AHP、主成分分析法等^[11,22,30],指标权重法最为常用。但指标权重法采用的主观或客观赋权法因其技术手段的不同都具有一定缺陷,主观赋权法缺乏数据

支撑,有一定盲目性。客观赋权法无法兼顾地区特殊性,有一定片面性。因此本研究考虑采取二者综合的组合赋权法确定各评价指标权重,进而构建乌江流域生态质量环境综合评价模型。研究根据贵州省乌江流域这一山区流域的特有地域属性,通过野外调查选取了乌江流域相应试验点,由生态方向专家对不同试验点生态要素进行主成分分析,确定流域生态环境质

量主要影响因子的权重,随后通过德尔菲法(Delphi)再次对客观计算的权重进行调整,最终建立贵州省乌江流域生态环境质量评价模型:

$$E = 0.3 \times \text{植被} + 0.2 \times \text{土壤} + 0.3 \times \text{水热条件} + 0.2 \times \text{地形}$$

$$= 0.08\text{NDVI} + 0.08\text{GVI} + 0.2\text{VC} + 0.2\text{GRABS}$$

$$+ 0.2\text{WI} + 0.1\text{LST} + 0.07\text{DEM} + 0.07\text{SLOPE}$$

式中:NDVI——归一化植被指数;GVI——穗帽变换提取的绿色指数;VC——植被盖度;GRABS——裸土植被指数;WI——穗帽变化提取的湿度指数;LST——地表温度;DEM——高程;SLOPE——坡度。

(2) 数据归一化处理。由于不同指标之间数值大小差异较大,直接进行定量评价会造成较大误差。因此在进行生态质量评价前需要按一定标准对各指标进行归一化处理,以便后期模型计算。根据表 2 中不同指标的量化分级编码值将各类指标带入 ArcGIS 软件进行重分类处理,使得参评指标数值介于 0~10 之间,消除量纲影响,增加评价结果的可信度。将归一化指标数据带入评价模型,得到生态环境质量综合指数。为了更直观展现不同区域生态环境环境质量差异,将最终计算所得的生态环境质量综合指数按自然断裂法进行重分类,分为“优”、“良”、“中”、“较差”和“差”共 5 类。

表 2 生态环境质量各评价指标分级标准

等级	NDVI	GVI	VC/%	GRABS
1	(-0.9, -0.7)	<-80	(0,10)	<-90
2	(-0.7, -0.5)	(-80, -70)	(10,20)	(-90, -80)
3	(-0.5, -0.3)	(-70, -60)	(20,30)	(-80, -70)
4	(-0.3, -0.1)	(-60, -50)	(30,40)	(-70, -60)
5	(-0.1, 0.1)	(-50, -40)	(40,50)	(-60, -50)
6	(0.1, 0.3)	(-40, -30)	(50,60)	(-50, -40)
7	(0.3, 0.5)	(-30, -20)	(60,70)	(-40, -30)
8	(0.5, 0.7)	(-20, -10)	(70,80)	(-30, -20)
9	(0.7, 0.9)	(-10, 0)	(80,90)	(-20, -10)
10	>0.9	>0	(90,100)	>-10

等级	WI	LST/°C	DEM/m	SLOPE/(°)
1	<-50	<-5	(0,250)	(0,10)
2	(-50, -40)	(-5, 0)	(250,500)	(10,20)
3	(-40, -30)	(0, 5)	(500,750)	(20,30)
4	(-30, -20)	(5, 10)	(750,1 000)	(30,35)
5	(-20, -10)	(10, 15)	(1 000,1 250)	(35,40)
6	(-10, 0)	(15, 20)	(1 250,1 500)	(40,45)
7	(0, 10)	(20, 25)	(1 500,1 750)	(45,50)
8	(10, 20)	(25, 30)	(1 750,2 000)	(50,55)
9	(20, 30)	(30, 35)	(2 000,2 250)	(55,60)
10	>30	>35	>2 250	>60

2 结果分析

2.1 主要要素分析

要素分析是综合评价的前提条件,结合前文贵州省乌江流域生态环境质量评价模型来看,各要素权重由大到小依次为:植被盖度=土壤指数=湿度指数>归一化植被指数=地表温度>绿色指数>高程=坡度,由权重来看植被盖度、裸土植被指数、湿度指数对生态环境质量的影响最为突出。因此基于贵州省乌江流域 1990,2000 和 2015 年 3 期数据,选取对生态环境质量贡献率为前 3 位的植被盖度、土壤指数、湿度指数进行主要要素分析制图(图 1)。由图 1 可知,1990—2015 年乌江流域植被盖度均值分别为 41.76%,60.03%和 65.77%,乌江流域植被盖度整体表现稳步上升趋势,其中流域内遵义市、铜仁地区及黔南州植被盖度增加明显。1990—2015 年乌江流域土壤指数均值分别为 15.78,15.39 和 18.45,土壤指数增加意味着裸土植被覆盖的增多,一定程度上也反映了土壤承载力的提升,也是近些年来对裸土地区植被恢复工作成效的有力证明。1990—2015 年乌江流域湿度指数均值分别为-40.18,-51.62 和 -29.7,研究期内乌江流域整体湿度指数增加,即域内水蒸气含量呈增加趋势。

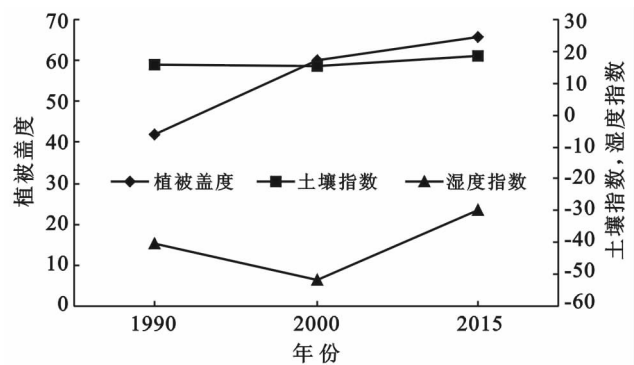


图 1 贵州省乌江流域基础要素统计

乌江流域包含贵州省毕节地区、六盘水市、安顺市、贵阳市、黔南州、黔东南州、遵义市和铜仁地区部分地区(以下贵州省乌江流域各市州所在范围以行政区划名称加*代替,其中毕节地区为乌江上游,铜仁地区为乌江下游,其余 6 个地区为乌江中游),参考其地理位置自西向东排序,分别统计 8 地 3 期植被盖度、土壤指数和湿度指数并制图表达(图 2)。

如图 3 所示,乌江流域植被盖度空间分异明显,中下游水平较高,上游水平低但空间差异呈现缩小趋

势。1990 年时乌江流域各地区植被盖度差异明显；2000 年黔东南州*、黔东南州* 及铜仁地区* 植被盖度出现回落现象，与当地经济开发过程联系密切；到 2015 年，全流域植被盖度已达 58% 以上。1990 年最高值黔东南州(72.6%)与最低值六盘水市(39.32%)植被盖度相差 33.28%，到 2015 年最高值黔东南州(73.55%)与最低值贵阳市(58.85%)植被盖度相差 14.7%，可见 25 a 间植被盖度差异逐渐缩小，植被盖度水平总体提升较显著。研究时期内，毕节地区*、六盘水市* 响应国家生态文明建设，植被盖度增长最快，分别为 24.12% 和 24.28%，黔东南州*、铜仁地区* 由于其植被覆盖基础较好，增长速度最慢，分别为 0.95% 和 5.19%。到 2015 年，流域内贵阳市*、安顺市* 及六盘水市* 植被盖度水平最低，与其城市化进程及早期资源开发利用不当有关，三地植被恢复仍需大量时间精力。土壤指数方面，乌江流域土壤指数呈中游低，下游高于上游的分布态势。1990 年时乌江流域各地区土壤指数差异明显；2000 年毕节地区*、六盘水市* 及黔东南州* 土壤指数有所下降；到 2015 年，全流域土壤指数差距进一步体现。1990 年最高值黔东南州* (16.8) 与最低值铜仁地区* (8.69)

土壤指数相差 8.11，到 2015 年最高值黔东南州* (19.15) 与最低值安顺市* (13.05) 土壤指数相差 6.1，土壤指数差异缩小但不显著。研究时期内，仅有六盘水市* 土壤指数呈现明显的下降趋势，其余地区土壤指数均有不同程度的增长。到 2015 年六盘水市* 土壤指数为全流域最低水平，主要原因在于六盘水市* 主导工矿业发展，生态环境压力致使其裸土植被覆盖减少，土壤指数降低。湿度指数方面，乌江流域湿度指数呈自上游向下游递增的趋势。1990 年时乌江流域各地区湿度指数差异明显；2000 年各地区湿度指数有所增加；到 2015 年，全流域湿度指数明显优于 1990 年。1990 年最低值毕节地区* (-51.21) 与最高值黔东南州* (-41.25) 湿度指数相差 9.96，到 2015 年最低值遵义市* (-38.91) 与最高值黔东南州* (-27.92) 土壤指数相差 10.99，湿度指数差异有轻微增大倾向。研究时期内，黔东南州* 湿度指数始终较高，六盘水市*、毕节市* 和安顺市* 湿度指数始终较低，到 2015 年六盘水市* 湿度指数为全流域最低水平。不同阶段湿度指数变化基本与植被盖度变化情况相符，得益于贵州省“十五”开始的生态恢复和环保立法、宣传等工作的有效开展。

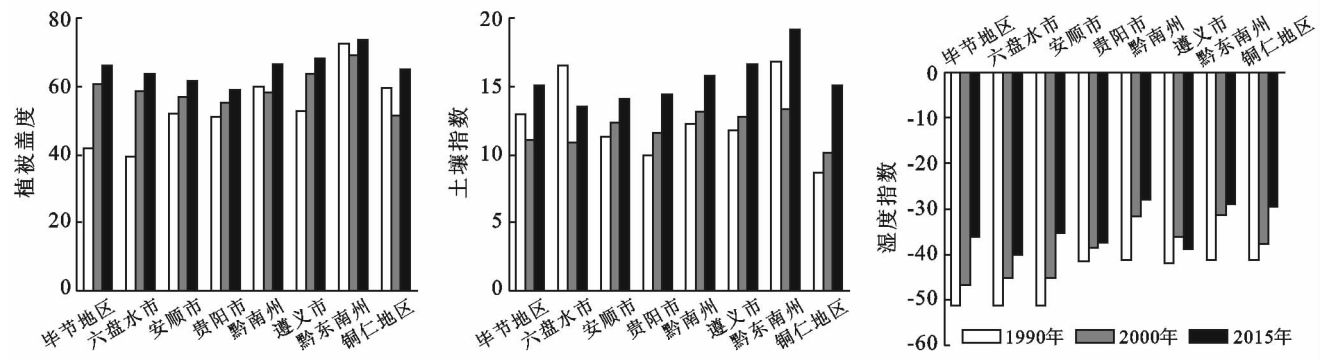


图 2 贵州省乌江流域各市州基础要素变化

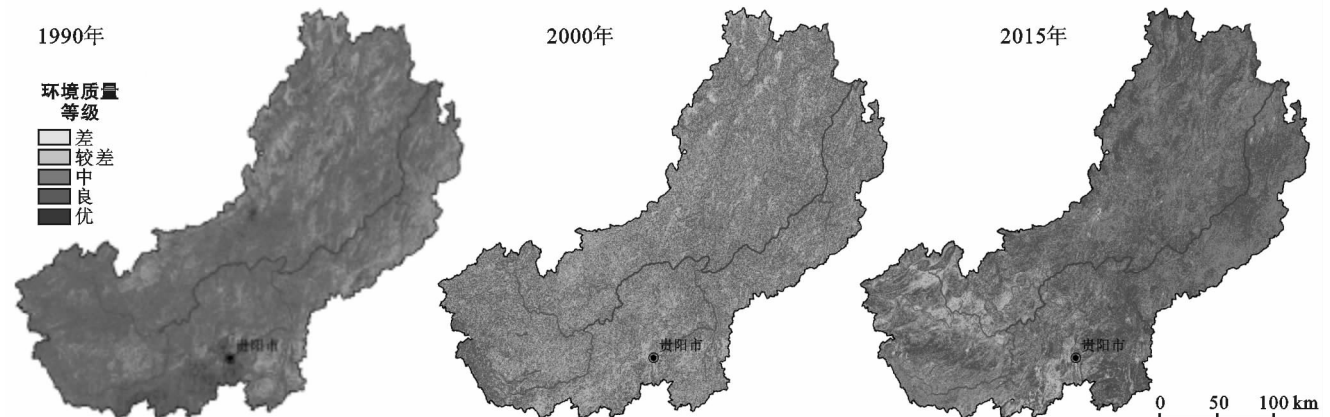


图 3 贵州省乌江流域生态环境质量分级

2.2 综合生境质量分析

选取表 1 中的评价指标,应用式 1 评价模型对贵州省乌江流域生态环境质量进行测算并评价分级(图 4)。分级依据如表 2 所示,1,2 级为“差”,3,4 级为“较差”,5,6 级为“中”,7,8 级为良,9,10 级为“优”,具体分级结果详见表 3。由表 3 可知,贵州省乌江流域生态环境质量以“良”为主,“优”和“中”占比在研究期内呈下降趋势,但仍占据相当比例,“较差”与“差”比例不断下降,差比例较少。25 a 间流域内“差”水平面积减少 0.67%，“较差”水平面积增加 2.3%，“中”水平面积减少 9.4%，“良”水平面积增加 5.02%，“优”水平面积增加 2.74%。结合图 3 来看,贵州省乌江流域生态环境质量总体向好,但主城市城区生态环境质量下降趋势明显,不同区域生态环境质量存在较大的空间差异,总体来说呈现出下游生态环境质量较优的格局。

表 3 贵州省乌江流域 3 期生态环境质量分级统计 %

年份	差	较差	中	良	优
1990	1.36	11.35	20.37	41.82	25.10
2000	1.31	9.21	23.40	41.17	24.91
2015	0.69	13.65	10.97	46.84	27.84

1990 年时,由于早期流域内开发活动和水平有限,对环境破坏程度较轻,全流域总体生态环境质量较均衡。到 2000 年由于流域资源开发利用力度加大,“差”、“较差”水平范围略微减少,“中”水平范围进一步扩大,“优”、“良”水平范围开始回落,乌江流域总体生态环境质量有所下降。到 2015 年,流域内“差”水平范围进一步减少,仅占总流域面积的 0.69%，“优”、“良”水平范围增加明显,占总流域面积的 74.68%，但“较差”水平范围占总流域面积的

13.65%，比“中”水平范围还多 2.68%，可见虽乌江流域总体生态环境质量较 1990 年有明显提升,但出现一定范围的“较差”水平集中分布的现象。21 世纪以来贵州省确立“坚持生态立省和可持续发展战略”的方针为乌江流域生态环境恢复带来较好契机。但不容忽视的是,城市化快速发展对生态环境质量造成的不利影响仍需要大量时间恢复,乌江流域主城区生态环境质量下降问题仍需予以重视与解决。为直观表现流域不同区域生态环境质量水平占比及变化趋势,对相关数据进行制图表达,结果如图 4 所示。乌江流域各区域 3 期生态环境质量波动变化较明显,但基本以“优”、“良”水平为主,流域内整体生态环境质量总体向好。1990 年,流域内各市州生态环境质量为“差”水平约占各市州的 8%，“优”和“良”水平均超过各市州的 70%。细化来看 1990 年乌江流域生态环境质量“中”水平以上地区,最优区(黔东南州* 74.31%)与最低区(毕节地区* 71.41%)相差 2.9%；2000 年,由于经济发展和人为扰动因素的增多,流域内各市州生态环境质量出现不同程度回落,其中六盘水市*、安顺市* 和贵阳市* 生态环境退化最为明显,细化来看 2000 年乌江流域生态环境质量“中”水平以上地区,最优区(黔东南州* 57.25%)与最低区(安顺市* 51.46%)相差 5.79%；到 2015 年黔东南州*、遵义市*、黔东南州* 和铜仁地区* 生态环境质量有效改善,“优”和“良”水平均超过各市州面积的 75%，毕节地区*、六盘水市*、安顺市* 和贵阳市* 生态环境质量有一定退步,“优”和“良”水平较 1990 年降低。细化来看 2015 年乌江流域生态环境质量“中”水平以上地区,最优区(黔东南州* 86.66%)与最低区(贵阳市* 62.69%)相差 23.97%，流域内各市州生态环境质量空间差异进一步增大。

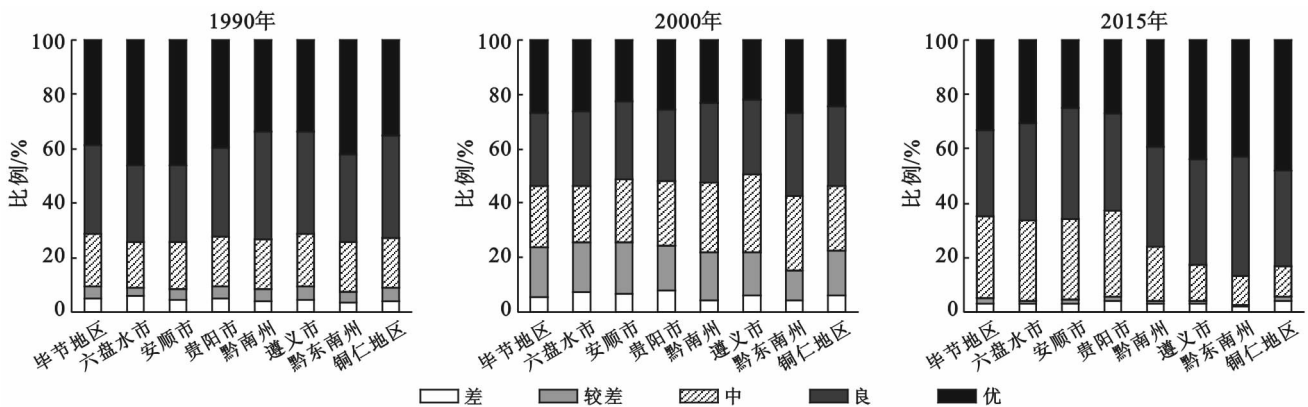


图 4 贵州省乌江流域各市州生态环境质量分级统计

总的来看,25 a 间黔东南州*、遵义市*、黔东南州* 和铜仁地区* “中”水平以上地区呈现正向增长,增长

比例依次为 2.85%、11.78%、12.35% 和 10.64%，乌江下游生态环境质量向好发展,原因在于在该区域内

历史生态环境质量较好,且该区域内石漠化治理工作开展成果得以体现,加之该区域为贵州省人口稀少地区,地广人稀的人口分布使得该区域生态环境承载力表现良好,故生态环境质量稳步提升。而毕节地区*、六盘水市*、安顺市*和贵阳市*“中”水平以上地区呈现负向增长,增长比例依次为-6.71%,-7.83%,-8.37%和-9.72%,乌江中上游生态环境质量有所退化,原因在于该区域城市化发展进程25 a间日益加快,基础设施建设过程中造成生态环境一定程度的破坏,加之日益增多的本地人口及外来人口涌入,加大了本来就较为脆弱的生态环境的承载压力,致使该区域生态环境质量退化且水平较低。虽然该区域生态环境治理工作有一定成效,“差”和“较差”水平地区较1990年有所减少,但“中”水平范围的扩大,“优”、“良”水平范围的缩小,加之流域上游地区生态安全屏障对流域总体生态环境质量、水土流失防治和水源保护地的重要意义,对贵州省乌江流域中上游未来生态环境治理和保护恢复仍是流域治理的重要工作内容。

3 讨论与结论

(1) 利用多时相、多波段、较高分辨率遥感影像,提取相关评价因子数据进行生态环境质量评价。在多重数据分析的基础上可有效提升环境的动态监测能力,确保相关分析的及时性和可靠性,为贵州省乌江流域生态环境质量评价研究结果的整体性和长时效性提供了有力保障。

(2) 1990—2015年贵州省乌江流域植被盖度、土壤指数和湿度指数整体稳步上升。其中植被盖度差异逐渐缩小,植被盖度水平总体提升较显著,流域内遵义市、铜仁地区及黔南州地区植被盖度增加明显,到2015年贵阳市植被盖度为全流域最低水平。伴随植被恢复工作的推进,仅有六盘水市*土壤指数呈现明显的下降趋势,其余地区土壤指数均有不同程度的增长。湿度指数呈自上游向下游递增的趋势,其中1990—2000年间仅黔南州*及黔东南州*湿度指数增速较快;2000—2015年间,毕节地区*及安顺市*湿度指数增速加快。

(3) 贵州省乌江流域生态环境质量总体向好,但主城区城区生态环境质量下降趋势明显,不同区域生态环境质量存在较大的空间差异,到2015年贵州省乌江流域生态环境质量已形成上游<中游<下游的分布趋势。1990年生态环境质量“中”水平以上地区最优区(黔东南州* 74.31%)与最低区(毕节地区* 71.41%)相差2.9%,2000年生态环境质量“中”水平

以上地区最优区(黔东南州* 57.25%)与最低区(安顺市* 51.46%)相差5.79%,2015年生态环境质量“中”水平以上地区最优区(黔东南州* 86.66%)与最低区(贵阳市* 62.69%)相差23.97%,空间差异逐渐增大。

(4) 1990—2015年贵州省乌江流域生态环境质量基本以“优”、“良”水平为主,3期生态环境质量波动变化较明显。1990—2015年“优”、“良”水平范围增加7.76%，“差”水平范围下降0.67%，生态环境质量总体经历了先下降后回升的变化趋势。25 a间黔南州*、遵义市*、黔东南州*和铜仁地区*“中”水平以上地区呈现正向增长,增长比例依次为2.85%,11.78%,12.35%和10.64%,毕节地区*、六盘水市*、安顺市*和贵阳市*“中”水平以上地区呈现负向增长,增长比例依次为-6.71%,-7.83%,-8.37%和-9.72%,贵州省乌江流域中上游是未来生态环境治理和保护恢复的重点区域。

[参 考 文 献]

- [1] 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):166-172.
- [2] 肖明. GIS在流域生态环境质量评价中的应用[D]. 海口:海南大学,2011.
- [3] Crabtree B, Bayfield N. Developing sustainability indicators for mountain ecosystems: A study of the Cairngorms Scotland [J]. Journal of Environment Management, 1998,52(1):1-14.
- [4] Walz R. Development of environmental indicator systems. Experiences from Germany [J]. Environmental Management, 2000,25(6):613-623.
- [5] Kamp I V, Lerdelmeijer K, Marsman G, et al. Urban environmental quality and human well-being: Towards a conceptual framework and demarcation of concepts; a literature study [J]. Landscape and Urban Planning, 2003,65(1/2):5-18.
- [6] Rombouts I, Beaugrand G, Artigas F, et al. Evaluating marine ecosystem health: Case studies of indicators using direct observations and modeling methods [J]. Ecological Indicator, 2013,24(1):353-365.
- [7] 陆雍森. 环境评价[M]. 上海:同济大学出版社,1999:15-35.
- [8] 万本太,王文杰,崔书红,等. 城市生态环境质量评价方法[J]. 生态学报,2009,29(3):1068-1073.
- [9] 孙东琪,张京祥,朱传耿,等. 中国生态环境质量变化态势及其空间分异分析[J]. 地理学报,2012,67(12):1599-1610.
- [10] 颜梅春,王元超. 区域生态环境质量评价研究进展与展望[J]. 生态环境学报,2012,21(10):1781-1788.

- [11] 魏伟,石培基,周俊菊,等. 基于 GIS 和组合赋权法的石羊河流域生态环境质量评价[J]. 干旱区资源与环境, 2015,29(1):175-180.
- [12] 凡宸,夏北成,秦建桥. 基于 RS 和 GIS 的县域生态环境质量综合评价模型:以惠东县为例[J]. 生态学报, 2013,32(3):719-725.
- [13] 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.
- [14] 张春桂,李计英. 基于 3S 技术的区域生态环境质量监测研究[J]. 自然资源学报, 2010,25(12):2060-2071.
- [15] 易武英,苏维词. 基于 RS 和 GIS 的乌江流域生态安全度变化评价[J]. 中国岩溶, 2014,33(3):2308-2318.
- [16] 郜红娟,韩会庆,俞洪燕,等. 乌江流域重要生态系统服务地形梯度分布特征分析[J]. 生态科学, 2016,35(5):154-159.
- [17] 向鹏,王仕禄,卢玮琦,等. 乌江流域梯级水库的氮磷分布及其滞留效率研究[J]. 地球与环境, 2016,44(5):492-501.
- [18] 王尧,蔡运龙,潘懋. 贵州省乌江流域土壤侵蚀模拟:基于 GIS, RUSLE 和 ANN 技术的研究[J]. 中国地质, 2014,41(5):1735-1747.
- [19] 中国水利百科全书编辑委员会. 中国水利百科全书[M]. 2 版. 北京:中国水利水电出版社, 2006:90-97.
- [20] 李洪义,史舟,郭亚东,等. 基于遥感和 GIS 技术的福建省生态环境质量评价[J]. 遥感技术与应用, 2006,21(1):49-54.
- [21] 田庆久,闵祥军. 植被指数研究进展[J]. 地球科学进展, 1998,13(4):327-333.
- [22] 白艳芬,马海州,张宝成,等. 基于遥感和 GIS 技术的青海湖环湖地区生态环境脆弱性评价[J]. 遥感技术与应用, 2009,24(5):635-641.
- [23] 史世莲,章文波,王国燕. 北京地区植被盖度提取及其分布变化研究[J]. 遥感技术与应用, 2014,29(5):866-872.
- [24] 许幼霞,周旭,赵翠薇,等. 1990—2015 年间贵州省植被生态环境质量变化特征[J]. 地球与环境, 2017,45(4):434-440.
- [25] Huang C, Wylie B, Yang L. Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance[J]. International Journal of Remote Sensing, 2002,23(8):1741-1748.
- [26] 王福民,黄敬峰,徐俊峰. 基于穗帽变换的 IKONOS 多光谱和全色影像融合[J]. 浙江大学学报:工学版, 2008,42(8):1380-1384.
- [27] 徐建春,赵英时,刘振华. 利用遥感和 GIS 研究内蒙古中西部地区环境变化[J]. 遥感学报, 2002,6(2):142-149.
- [28] 赵慧,张明明,赵艳玲. TM6 温度信息提取研究[J]. 科技创新导报, 2008,17(7):7.
- [29] 邓慧平,李秀彬. 地形指数的物理意义分析[J]. 地理科学进展, 2002,21(2):103-110.
- [30] 朱远辉,刘凯,艾彬,等. 新丰江流域生态环境质量遥感评价[J]. 热带地理, 2013,33(2):133-140.

(上接第 139 页)

- [16] Fryberger S G. Dune forms and wind regime[M]// Mckee E D. A Study of Global Sand Seas. US Geological Survey Professional Paper, 1979.
- [17] 凌裕泉. 最大可能输沙量的工程计算[J]. 中国沙漠, 1997,17(4):362-368.
- [18] 康立新,林华顺,蔡顺章,等. 与风向成不同交角时林带防风效果的透风系数关系的探讨[J]. 林业科技通讯, 1982(11):21-24.
- [19] 张春来,邹学勇,程宏,等. 包兰铁路沙坡头段防护体系近地面流场特征[J]. 应用基础与工程科学学报, 2006,14(3):353-360.
- [20] Bullard J E. A note on the use of the 'fryberger method' for evaluating potential sand transport by wind[J]. Journal of Sedimentary Research, 1997, 67(3):499-501.
- [21] 朱金兆,贺康宁,魏天兴,等. 农田防护林学[M]. 北京:中国林业出版社, 2010.
- [22] 张伟民,王涛,薛娟,等. 敦煌莫高窟风沙危害综合防护体系探讨[M]. 中国沙漠, 2000,20(4):409-414.
- [23] 石莎,马风云,刘立超,等. 沙坡头地区不同植被结构对沙地土壤水分的影响[J]. 中央民族大学学报:自然科学版, 2004,13(2):137-141.
- [24] 李新荣,马风云,龙立群,等. 沙坡头地区固沙植被土壤水分动态研究[J]. 中国沙漠, 2001,21(3):217-222.