

基于生态格局视角的三峡库区土地生态系统服务价值

张 杨¹, 马泽忠², 陈 丹³

(1.重庆工商大学, 重庆 400067; 2.重庆市土地勘测规划院, 重庆 400020; 3.重庆工商大学 融智学院, 重庆 400033)

摘 要:以三峡库区重庆段为研究对象,以 TM 解译数据为基础,采用生态系统服务价值测算、空间分析等方法,分析了研究区 2000—2015 年 4 个时期的土地生态系统服务价值演变特征及空间分布特征。结果表明:(1) 研究区土地利用变化“三增三减”,以耕地、林地、草地向建设用地和水域的转变占据主导,建设用地沿城区外廓扩展速度快,研究区生态系统服务价值呈先增后减的趋势,耕、林、草前期向水域转变较多,生态系统服务维持稳定甚至有所提高,后期向建设用地转变较多,生态系统被割裂,服务价值降低;(2) 研究区生态系统服务价值及服务价值变化率的空间相关性逐渐增强,空间集聚效应明显,城区以狭长形态集聚扩展;(3) 研究区生态系统服务价值的空间分布为北部地区高于南部,东部高于西部,且此趋势在向北、向东扩展,空间分布异质程度不断提高,与研究区内建设用地增加的趋势一致。研究为三峡库区区域生态环境改善与改善土地利用格局提供参考。

关键词:生态系统服务价值; 土地利用; 空间自相关; 三峡库区

中图分类号:F301.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)05-0321-07

Service Value of Land Ecosystem in the Three Gorges Reservoir Area Based on the Perspective of Ecological Pattern

ZHANG Yang¹, MA Zezhong², CHEN Dan³

(1.Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China; 2.Chongqing Land Surveying and Planning Institute, Chongqing 400020, China; 3.Rongzhi College, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400033, China)

Abstract: We take the Chongqing section of the Three Gorges Reservoir Area as the research site. Based on the vector data of the landsat TM human-machine combined interpretation data, we use the methods of ecosystem service value measurement, and spatial analysis to analyze the evolution characteristics of land ecosystem services in the four periods from 2000 to 2015. The results show that: (1) the phenomenon of ‘three increases and three reductions’ in land use change in the study area is obvious, the conversion of cultivated land, forest land and grassland to construction land and water bodies is dominant, and the increase of construction land is fast along the urban area; the value of ecosystem services in the study area increased first and decreased later; the arable, forestry, and grass stages changed more into the water bodies; the ecosystem services remained stable and even improved; later, the construction land was changed more, the ecosystem was fragmented, and services were provided; (2) the spatial correlation of ecosystem service value and service value change rate in the study area gradually enhanced, the spatial agglomeration effect was obvious; the urban area clustered and expanded in a narrow and long form; (3) with respect to spatial distribution characteristics of ecosystem services value in the Chongqing section of the Three Gorges Reservoir Area, ecosystem service values in the northern region of the Three Gorges Reservoir area were higher than the south, and ecosystem service values were higher in the east than the west, the ecosystem service value started from the lowest southwestern Chongqing urban area, gradually increased in the north; the heterogeneity of spatial distribution continued to increase, at the same time, this trend was expanding northward and east-

收稿日期:2018-12-07

修回日期:2018-12-28

资助项目:重庆市教育委员会科学技术研究项目(项目号:KJ1719374)“基于“3S”和 SNA 的重庆市人口迁移时空监测与预测预警研究”资助; 重庆工商大学创新团队(CJSYTD201708)

第一作者:张杨(1994—),女,重庆人,硕士研究生,主要方向环境规划与管理,土地资源管理。E-mail:zyzy0523@126.com

通信作者:马泽忠(1972—),男(土家族),重庆市石柱人,正高级工程师,从事遥感与地理信息系统技术应用研究。E-mail:mazezhong@yahoocom.cn

ward, which was consistent with the trend of urban expansion and construction land increase in districts and counties with high urbanization and urbanization in Chongqing. This study can provide the reference for the improvement of regional ecological environment and improvement of land use pattern in the Three Gorges Reservoir Area.

Keywords: ecosystem service value; land use; spatial autocorrelation; Three Gorges Reservoir Area

土地利用变化/土地覆盖变化(LUCC)是全球生态环境变化的重要原因和驱动力^[1],土地利用类型的转变及其管理模式将对生态系统服务功能产生深远影响^[2]。对生态系统服务进行研究有利于优化土地利用的空间格局和完善其管理机制^[3]。

目前,国外关于生态系统服务价值的研究较比国内的研究更为深入。国际上,对土地生态系统服务的研究始于 Costanza 等的“全球自然资本评估”^[4]。此后,不断有学者对生态系统服务的分类体系、价值测算方法、价值评估方式等方面内容进行深入研究^[5-8]、并针对具体研究范围,研究在不同空间尺度、不同地域类型上的生态系统服务价值的特征^[9-10],研究生态系统服务价值的空间分布^[11],由于土地利用变化与城市扩展密切相关,其引起的生态系统服务功能变化受城市发展影响,因此,城市土地生态系统服务成为当下的研究热点。国内学者更多地是在谢高地对 Costanza 的生态系统服务价值测算方法修正的基础上^[12-13],对生态系统服务进行这几方面的研究:(1)从具有特殊地貌的区域如以高原地区、流域或喀斯特为研究单位^[14-16];(2)针对某一类用地进行生态系统服务价值研究,如研究森林、地表水、沼泽湿地、等特殊用地类型^[17-19];(3)以及近年来对城市生态系统服务的兴起,高速发展的城市与待发展的城市都是研究的重点,部分学者从景观格局变化城市扩张对生态系统服务的影响^[20],也有学者从城市内部的森林、绿地、水体出发,探索更加适合城市的生态系统服务价值评估模型^[21-22]。

三峡库区重庆段包括重庆城区在内的 22 个区县。近年来,随人口与经济的飞速增长,三峡库区土地利用结构与空间分布发生较明显的变化,随之对生态系统服务造成显著影响^[23]。目前,相关文献大都只是重视基于利用 RS 与 GIS 工具对生态系统服务进行定量分析研究,较少研究对其生态系统服务格局进行分析,忽略对生态系统服务价值的时空分布演变特征的研究。生态系统服务价值在时间以及空间上的演变特征是研究生态环境健康与否、城市扩展科学合理的重要指标。本文以三峡库区为例,运用空间自相关分析分布对研究区生态系统服务价值的空间特征进行深入研究,揭示研究区内部的生态系统服务价

值的异质特征,为三峡库区生态环境保护、城市可持续发展提供参考。

1 试验材料与方法

1.1 研究区概况

三峡库区位于北纬 28°31′—31°44′、东经 105°49′—110°12′,地处四川盆地与长江中下游平原之间,丘陵地貌。库区包含长江流域因三峡水利工程影响而被淹没和三峡库区人口迁移所涉及的重庆市以及湖北省部分区县,本研究选取三峡库区重庆段为研究区,目的是为了保持行政单位统一,降低由政策造成不同方向、类型的大范围人为干预活动影响。幅员面积 5 739 072.86 hm²。2015 年三峡库区年末常住人口为 1 317.18 万人,其中城镇人口为 738 089 万人,城镇化率为 56.1%,同年区域生产总值 6 206.9 亿元。本文选取的四期数据 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年,时间跨度较长。研究三峡库区在经济高速发展、城市快速扩展的背景下,生态系统服务价值的变化,并从区县的尺度上分析其空间关系,为优化三峡库区土地利用格局和借鉴和提高其生态系统服务提供数据参考和理论支撑。

1.2 数据来源及处理

本文研究以 2000 年、2005 年、2010 年、和 2015 年美国陆地卫星 Landast/TM 遥感数据为基础,基于 ArcGIS 10.1 人机结合解译,得到三峡库区四期数据。其他数据来源分别为 2001 年、2006 年、2011 年和 2016 年重庆统计年鉴、三峡公报以及其他相关文献。

1.3 研究方法

1.3.1 地类划分 结合参考相关生态系统服务价值关于不同价值的用地类型的划分^[24-25],按照三峡库区土地利用的实际情况及《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2007),在 ArcGIS 10.1 中将 27 种二级地类合并土地类型后将三峡库区用地类型分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 类(表 1)。

1.3.2 土地利用类型变化动态度 土地利用类型变化动态度是一定研究时间内,土地利用变化数量的变化量,可以体现土地利用类型转变剧烈程度。

单一土地利用类型变化动态度公式

$$K=\frac{U_b-U_a}{U_a}\times\frac{1}{T}\times100\%$$

(1)

式中: K 是单一土地利用类型变化动态度; U_a 、 U_b 分别为某一土地利用类型研究期初和研究期末的面积; T 是研究时长,当 T 的单位是年时, K 为该研究区单一土地利用类型年变化率。

1.3.3 生态系统服务价值 生态系统服务价值系数是单位面积的生态服务价值量^[26],受区域环境及时间变化等多种因素影响^[27]。结合谢高地等和 Costanza 的生态系统价值系数,参考重庆的生态系统服

表 2 三峡库区生态系统单位面积服务价值

土地利用类型	生态系统服务功能	生态系统服务价值系数/ (万元·hm ⁻²)
耕地	生产原材料(生活、生产)和承载污染	0.62030
林地	涵养水源、保持水土、调节小区域气候、维持生物多样性	1.96130
草地	保持水土、生物栖息地、承载污染、物质能量循环	0.42615
水域	净化水质、承载污染、水生生物栖息	5.58135
建设用地	不具有生态服务价值,割裂生态系统	-0.53721
未利用地	生物栖息、承载污染	0.03714

生态系统服务价值(ESV_f)计算公式

$$ESV=A_i\times VC_i$$

(3)

$$ESV_f=\sum_{i=1}^n(A_i\times VC_i)$$

(4)

式中:ESV 为研究区的生态系统服务价值; A_i 表示研究区第 i 种土地利用类型的土地面积; VC_i 表示研究区第 i 种土地利用类型的单位面积生态系统服务价值。

1.3.4 空间统计分析方法 空间统计分析方法的核心是认识与地理位置相关的数据间的空间依赖关、空间关联、空间自相关,本文使用全局 Moran 指数 I 表示空间邻接或邻近的区域单元属性值的相似程度,通过空间联系的局部指标(LISA)局部 Moran 指数 I_i 描述研究区内部各单元显著的相似值单元的空间集聚程度。

$$I=\frac{\sum_{i=1}^n\sum_{j=1}^nW_{ij}(X_i-\bar{X})}{S^2\times\sum_{i=1}^n\sum_{j=i}^nW_{ij}}$$

(5)

$$I_i=\frac{(X_i-\bar{X})}{S^2}\times\sum_jW_{ij}\times(X_j-\bar{X})$$

(6)

其中 $S^2=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n(X_i-\bar{X})$;

式中: I 为全局 Moran 指数; I_i 为局部 Moran 指数; X_i 与 X_j 分别代表 i 单元与 j 单位的值; n 为空间单元个数; W_{ij} 为空间权重矩阵。Moran 指数 I 的值域在 $[-1,1]$,大于零表正向关,零表示不相关,小于零为负相关。

为直观地展示三峡库区重庆段内部各区县的生态系统服务价值的空间分布,通过 geoda 软件进行空

务价值系数^[28]最终得到本文的三峡库区单位面积生态系统服务价值系数(表 2)。

表 1 三峡库区土地利用类型

土地利用类型	二级地类
耕地	旱地、水田
林地	有林地、灌木林地、疏林地、其他林地
草地	高覆盖度草地、中覆盖度草地、地覆盖度草地
水域	河渠、湖泊、水库坑塘、滩地
建设用地	城镇用地、农村居民点、其他建设用地
未利用地	沙地、沼泽地、裸土地、裸岩石砾地、其他

间自相关分析得到 Moran's I 指数散点图与 LISA 图,对 2000—2015 年的三峡库区重庆段生态系统服务价值进行空间分析。

2 结果与分析

2.1 土地利用变化

基于遥感解译可得到三峡库区 2000 年、2005 年、2010 年以及 2015 年 4 个研究年的土地利用类型。可知研究区各类土地中林地面积占比最大,其次是耕地。耕地、林地、草地在库区内广泛分布,基本呈相间格局分布,水域主要是嘉陵江、长江贯穿,受西南地区多山多丘陵地形和交通条件的限制,建设用地主要分布在重庆主城区及周边区县,其次建设用地分布较多的是长江沿线,如长寿区、涪陵区、万州区等的区县,其他区县的建设用地分布较为零星,未连篇,不聚集;未利用地主要集中渝东北(云阳、巫溪、奉节等县),分布也较为零散,主要是裸土以及石漠化的裸岩。

通过统计计算,整理得到研究区土地利用变化表(表 3),由表 3 可知,2000—2015 年,各用地类型转变以耕地、林地、草地向建设用地和水域的转变占据主导,其中转移量最大的是耕地,转移量达 38 846.1 hm²,其次是林地和草地;面积增加最多的是建设用地,15 a 间共增加 40 951.95 hm²,其动态度也高达 2.51%,城区周边的大量耕地向建设用地转变,水域面积增加较为平均,未出现集聚增加的现象。在分区

尺度上,主城区建设用地扩展速度及规模都远高于其他区县,其次是长寿区、涪陵区、和万州区等区位上靠近主城区,城市化水平提升显著,近年来经济发展较为迅速的区县,建设用地扩张规模较大、速度较快;水域面积的增加平缓,从渝西南到渝东北研究区水域

面积的增加逐渐增大,长江下游河面逐渐扩宽,特别云阳县、奉节县长江江面有较明显加宽,除大渡口区、沙坪坝区九龙坡区、北碚区水域面积有所降低外,渝中区水域面保持不变,其余各区县水域面积变化均有所增加。

表 3 三峡库区 2000—2015 年土地利用变化

土地利用 类型	土地利用面积/hm ²				2000—2015 年 面积变化/hm ²	动态度/%
	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年		
耕地	1868468.398	1863510.761	1842724.98	1829622.298	—38846.10	—0.139
林地	2389388.125	2386443.726	2382651.754	2373111.628	—16276.50	—0.045
草地	134835.4037	134831.8504	133756.9383	133919.2714	—916.13	—0.045
水域	111628.7785	116457.8824	124080.1363	126685.1567	15056.38	0.899
建设用地	108627.3154	111754.8705	129736.6657	149579.2646	40951.95	2.513
未利用地	528.9074207	477.8386721	526.4538675	559.309777	30.40	0.383

2.2 生态系统服务价值时序变化

通过生态系统服务价值的当量价值测算,计算得到三峡库区重庆段各研究年的生态系统服务总价值

(表 4),2000 年、2005 年、2010 年、2015 年总价值分别为 652.96 亿元、654.78 亿元、657.02 亿元、655.87 亿元。

表 4 2000—2015 年三峡库区土地利用系统生态系统服务价值 亿元

时间	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	合计
2000 年	115.9011	468.6307	5.746011	62.30393	0.403442	—0.02841	652.9568
2005 年	115.5936	468.0532	5.745859	64.99922	0.415058	—0.02567	654.7812
2010 年	114.3042	467.3095	5.700052	69.25347	0.481842	—0.02828	657.0208
2015 年	113.4915	465.4384	5.706970	70.70742	0.555537	—0.03005	655.8697

2000—2015 年,三峡库区重庆段生态系统服务价值呈现先增加后降低态势。这与研究区在研究期间耕地、林地面积逐年降低,水域面积变化先大幅增加后小波动增加,建设用地先少量增加后大幅增加的趋势基本一致,土地利用类型的变化导致生态系统服务价值变化。2000—2010 年,由于三峡库区开始截流蓄水,耕地、林地、草地等地类都有不同程度的减少,水域面积增加,使得区域生态系统服务总价值增加,共计增加 4.06 亿元;2010—2015 年,由于人类干预活动加剧,城市化进展速度加快,建设用地面积增加,2015 年生态系统服务总价值低于 2010 的服务价值,降低 1.15 亿元。

总体而言,三峡库区 2000—2015 年,生态系统服务价值增加,从 2000 年的 652.96 亿元到 2015 年的 655.87 亿元,共计增加 2.91 亿元,造成这种现象的主要原因:(1) 生态系统服务价值比较低的耕地、草地面积减少较多;(2) 因建设用地面积增加而损失的生态服务总价值低于因水域面积增加的生态服务总价值。

2.3 生态系统服务价值空间分异演变

2.3.1 生态系统服务价值空间相关性研究 对三峡库区 2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年生态系统服

务价值进行空间自相关分析,研究年的生态系统服务价值空间自相关 Moran's I 指数均大于 0.5,且呈逐年稳定增长的趋势,表明研究区生态系统服务价值空间分布具有较强的正向相关性。

为直观显示三峡库区生态系统服务价值的空间分布情况,通过 geoda 制作的 LISA 集聚图(图 1)来表达其相关空间关系。2000—2010 年三峡库区的三峡库区各区县生态系统服务价值的聚集状态基本保持不变,万州、开州、石柱县、巫山县为高一高聚集区,长寿区、渝北区、北碚区、沙坪坝区、渝中区、九龙坡区和大渡口区属于低—低聚集区,忠县属于低—高聚集区,江津和涪陵则属于高一低聚集区;2015 年三峡库区各区县生态系统服务价值空间分布,低—低聚集、低—高聚集、高一低聚集不变,高一高聚集区较之前多出奉节县。渝东北地区生态系统服务价值远高于西南片区,造成这种分布的主要原因是渝西南城市扩展快、规模大,以重庆主城区为中心,以山地城市的地形因素以及交通条件为限制,由城市边界向交通便利,地势较为平坦的周边各方向,以狭长形态不断向外围扩张,大量农地、林地转为建设用地,而建设用地割裂生态环境,建设用地会贡献负的生态系统服务价

值,该结果与前文土地利用变化分析中建设用地在主城九区及沿江区县的结果基本一致三峡库区城市发

展是由城市边界向交通便利,地势较为平坦的周边各方向,以狭长形态扩展。

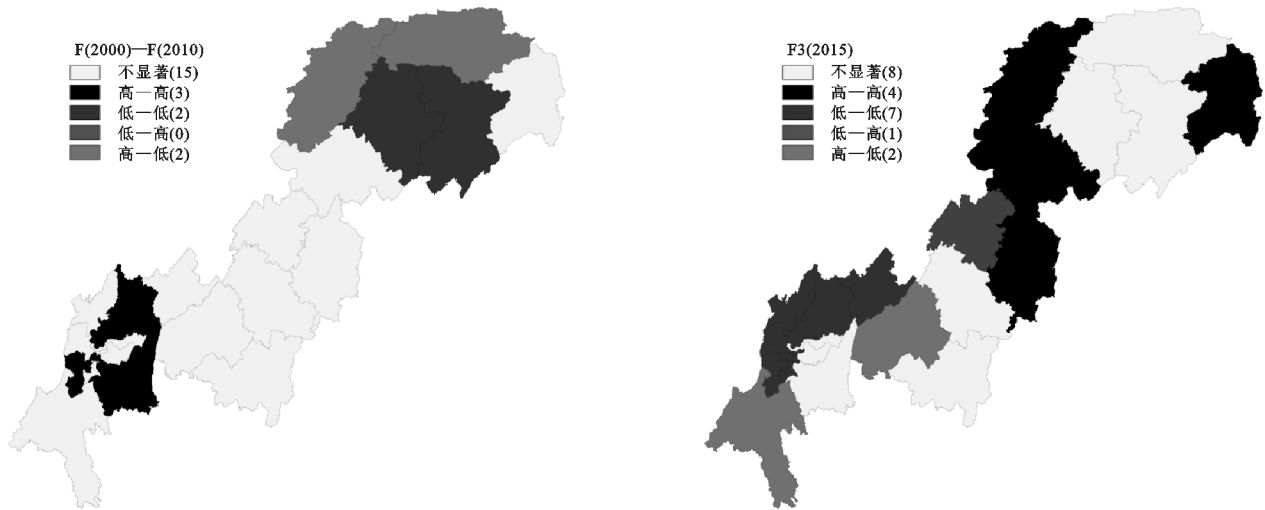


图 1 2000—2015 年三峡库区各区县生态系统服务价值 LISA 聚集图

2.3.2 生态系统服务价值变化率空间相关性研究
对三峡库区不同阶段生态系统服务价值变化率进行空间自相关分析(图 2),由图可得:研究区内各区县的生态系统服务价值变化率均为正,从 a 阶段即 2000—2005 年的 0.32, b 阶段即 2005—2010 年的 0.41,增加到 c 阶段即 2010 年到 2015 年间的 0.51, Moran's I 的值逐年均匀增大,表明研究区各区县的

生态系统服务价值变化率的正向空间相关性逐渐增强,对应表现为 2000—2015 年城市发展以集聚为主,蔓延速率不断加快,建设用地以城市为中心呈指数性扩张,水域面积沿长江流域和以库区中心扩展;且对 Moran's I 指数进行检验,检验结果均为显著,表明 2000—2015 年,三峡库区各区县生态系统服务价值变化呈现空间集聚的特点。

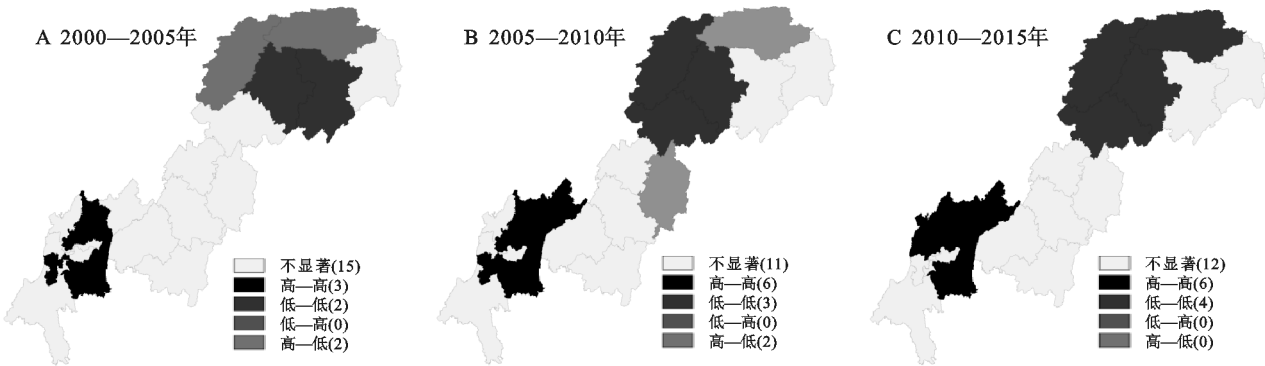


图 2 2000—2015 年三峡库区生态系统服务价值变化差分 LISA 聚类图

为直观显示三峡库区不同阶段生态系统变化率的空间分布情况,利用 LISA 聚集图(图 2)表示其空间自相关关系,a 阶段,渝北区、九龙坡区、巴南区是生态系统服务价值率变化率高一高集聚区;奉节县和云阳县为低一低集聚区,开州、巫溪县属于高一低集聚区;b 阶段,渝北区、九龙坡区、巴南区、江北区、大渡口区、长寿区均属于高一高集聚区,万州、云阳县及开州属于低一低,巫溪县、石柱县属于高一低;c 阶段,渝北区、巴南区、江北区、沙坪坝、北碚区、以及长寿区均属于高一高集聚区,万州区、开州、云阳、巫溪属于低一低集聚,c 阶段无高一低集聚区,a, b, c、阶段均无低一高集聚区。b, c 阶段,高高集聚和低低集

聚的空间相关性不断增强,且其重心在空间上都没有发生移动,高高集聚区集中在渝西南片区,低低集聚区、高低集聚区主要分布在渝东北片区,此结果与前文中土地类型转变中建设用地增加以城市为中心集聚扩展的结论基本一致。造成这种分布的主要原因:一是三峡库区地类转变中增量最大的建设用地沿重庆城区及其邻近区县扩展,江北区、巴南区、北碚区、长寿区、涪陵区等农林地转为建设用地量较大,其生态系统服务价值变化率高,空间集聚性明显;二是生态系统质量较高的渝东北片区,生态系统也较为稳定,各类用地转移量小,价值的变化率低,空间集聚性也不明显。渝东南地区生态系统服务价值较为稳定,渝东北地

区主要属于低聚类,云阳县、奉节县生态系统服务变化率低、且开州在a阶段属于高变化率,在b,c阶段则属于低变化率;巫溪在a,b阶段属于高变化率,但在c阶段属于低变化率,此变化符合各区县各自的城市发展曲线,表明城市发展及建设用地的扩张及其扩张方向是影响生态系统服务价值变化及空间分布的主要原因。

2.4 生态系统服务价值剖面分析

为分析三峡库区重庆段各区县生态系统服务价值空间分布的差异,根据研究区的地形、交通条件、建设用地扩张的规模和方向,选择东—西方向(A—A剖面)、东北—西南方向(B—B)2条剖面线通过创建剖面,分析2000—2015年三峡库区重庆段生态系统服务价值的空间分布。

东—西走向A—A剖面,此剖面涉及重庆城区,剖面价值变化呈波动上升,表征三峡库区生态服务的价值由东至西逐渐增加。服务价值较高的是石柱县、涪陵区,其原因是能提供更高生态系统服务的水域与森林较多,贡献的生态系统服务价值较多,而重庆城区服务建设用地量大,林地、水域、农地面积较少,相应的,其生态系统服务价值也较低;A—A剖面反映2000—2015年剖面线所涉及的三峡库区各区县生态系统服务价值均有所下降,重庆城区及周边区县降低量大于其他区县的降低量,这是由于城市沿原城市边界扩展,水域、林地及农地被侵占导致生态系统服务价值快速降低。A—A剖面线价值变化呈波动性上升,表明西南部城区生态系统服务价值较低,但其余区县生态系统服务价值较高,同时服务价值的差距逐渐扩大,空间分布也朝着更加集聚、不均衡的方向发展,空间分布异质程度高,且这种空间异质性的程度有提高的趋势。

B—B剖面,此剖面线贯穿研究区的东北—西南,与长江走向基本一致,是研究区的长轴,2000—2015年,B—B剖面线波动较A—A剖面线起伏更大,波动频率更快,但始终走向向下,表征三峡库区生态系统服务价值自东北方向西南方向逐渐降低。生态系统服务价值最高的始终是巫溪县,主要是因为其林地面积占比高达74.5%,建设用地占比不到0.01%,服务价值在忠县及巴南出现两个低谷,表明服务价值在忠县及巴南出现萎缩。B—B剖面线反映2000—2015年剖面线所涉及的三峡库区各区县生态系统服务价值总体是呈增加趋势,且越往东北方向,服务价值的增量越大,价值的波动变化与研究区的地形条件有直接影响,渝东北片区,多山地地形,整体海拔较西南片区高,

林地、水体更偏向原生形态,生态系统服务价值也就保持在相对较高水平,而渝西南片区,由于历史及交通因素,更易发展城市,建设用地的转变相对简单,扩张迅速,服务价值降低明显。原位于高峰峰顶的涪陵区、丰都县等地出现高峰逐渐萎缩的现象,生态系统服务价值降低,与东北片区的差距逐渐扩大,并出现与西南片区出现同化的现象。

3 结论

(1) 2000—2015年三峡库区重庆段土地利用变化情况出现“三增三减”。各用地类型转变以耕地、林地、草地向建设用地和水域的转变占据主导,其扩展方向沿重庆城区及长江沿岸;重庆城区周边建设用地扩展速度及规模都远高于其他区县。研究期间,研究区生态系统服务价值呈先增后减的趋势,从2000—2010年,服务价值增加4.06亿元,在2010—2015年减少了1.15亿元,研究期间共计增加2.91亿元。

(2) 从区县层面上看,2000—2015年生态系统服务价值的空间相关性逐渐增强,而服务价值变化率的空间相关性也逐渐增加,集聚效应明显。从未来发展的趋势出发,各区县的生态系统服务价值总量和服务价值变化的空间相关性都在增强,表明三峡库区重庆段的发展集聚,城市发展也由城市边界向交通便利,地势较为平坦的周边各方向,以狭长形态集聚扩展。

(3) 三峡库区重庆段生态系统服务价值空间分布特征;三峡库区生态系统服务价值的空间分布:北部地区高于南部,东部高于西部,即生态系统服务价值从最低的西南部重庆城区开始向东,向北逐渐增加,同时服务价值的差距在西南、东北两方向不断扩大,空间分布异质程度不断提高,这种变化与重庆城区、城市化水平高的区县的城市扩展、建设用地增加的趋势一致。

(4) 综上,研究三峡库区重庆段15a土地生态系统服务价值演变规律,对三峡库区生态环境建设、重庆城市扩展具有重要参考意义。三峡库区生态系统服务价值逐年增加,生态系统服务的功能性也不断增强,但空间分布集聚,城区人口高密度区域服务价值降低,因此应加强优化国土空间布局,科学规划城市发展,坚持合理与适度开发。

参考文献:

- [1] 陈佑启,杨鹏.国际上土地利用/土地覆盖变化研究的新进展[J].经济地理,2001,21(1):95-100.
- [2] 何玲,贾启建,李超,等.基于生态系统服务价值和生态

- 安全格局的土地利用格局模拟[J].农业工程学报,2016,32(3):275-284.
- [3] 张丽琴,渠丽萍,吕春艳,等.基于空间格局视角的武汉市土地生态系统服务价值研究[J].长江流域资源与环境,2018,27(9):1988-1997.
- [4] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997,387(1):3-15.
- [5] Yealla Depietri, Torsten Welle, Fabrice G. Renaud. Social vulnerability assessment of the Cologne urban area (Germany) to heat waves: links to ecosystem services [J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2013,6:98-117.
- [6] Franziska K, Felix M, Dagmar H, et al. Rural-urban gradient analysis of ecosystem services supply and demand dynamics[J]. *Land Use Policy*, 2012,29(3):521-535.
- [7] Timon M, Peleg K, Zoé A H. Mapping ecosystem services in New York City: Applying a social-ecological approach in urban vacant land[J]. *Ecosystem Services*, 2013,5:11-26.
- [8] Barnes-Mauthe M, Oleson K L L, Brander L M, et al. Social capital as an ecosystem service: Evidence from a locally managed marine area[J]. *Ecosystem Services*, 2015,16:283-293.
- [9] Vizzari M, Antognelli S, Hilal M, et al. Ecosystem services along the urban-rural-natural gradient: An approach for a wide area assessment and mapping [J]. *Computational Science*, 2015,9157:745-757.
- [10] Costanza R, Groot D R S, Sutton P, et al. Changes in the global value of ecosystem services[J]. *Global Environmental Change*, 2014,26(1):152-158.
- [11] Molnar J L, Kubiszewski L. Managing natural wealth: Research and implementation of ecosystem services in the United States and Canada[J]. *Ecosystem Services*, 2012,2:45-55.
- [12] 谢高地.中国生态系统服务的价值[J].资源科学,2015,37(9):1740-1746.
- [13] 谢高地.基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J].自然资源学报,2015,30(8):1243-1254.
- [14] 马依拉·热合曼,买买提·沙吾提,尼格拉·塔什甫拉提,等.基于遥感与GIS的渭库绿洲生态系统服务价值时空变化研究[J].生态学报,2018,38(16):5938-5951.
- [15] 南笛,杨子寒,毕旭,等.生态系统服务价值与人类活动的时空关联分析:以长江中游华阳河湖群地区为例[J].中国环境科学,2018,38(9):3531-3541.
- [16] 史莎娜,李晓青,谢炳庚,等.喀斯特和非喀斯特区农业景观格局变化及生态系统服务价值变化对比:以广西全州县为例[J].热带地理,2018,38(4):487-497.
- [17] 潘鹤思,李英,陈振环.森林生态系统服务价值评估方法研究综述及展望[J].干旱区资源与环境,2018,32(6):72-78.
- [18] 成波,李怀恩,黄康,等.基于河道生态基流保障的农田生态系统服务价值损失量研究[J].水资源与水工程学报,2018,29(4):255-260.
- [19] 杨青,刘耕源.湿地生态系统服务价值能值评估:以珠江三角洲城市群为例[J].环境科学学报,2018,38(11):4527-4538.
- [20] 邹月,周忠学.西安市景观格局演变对生态系统服务价值的影响[J].应用生态学报,2017,28(8):2629-2639.
- [21] 黄日鹏,李加林,段义斌,等.快速城镇化对杭州湾南岸慈溪市土地利用及生态系统服务价值的影响[J].中国水土保持科学,2018,16(5):105-113.
- [22] 陈宏伟,许晶,刘娜,等.沈阳市城区绿地生态系统服务价值的时空变化[J].应用生态学报,2018,29(10):3391-3397.
- [23] 国洪磊,周启刚.三峡库区蓄水前后土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J].水土保持研究,2016,23(5):222-228..
- [25] 李屹峰,罗跃初,刘纲,等.土地利用变化对生态系统服务功能的影响:以密云水库流域为例[J].生态学报,2013,33(3):726-736.
- [24] 赵志刚,余德,韩成云,等.鄱阳湖生态经济区生态系统服务价值预测与驱动力[J].生态学报,2017,37(24):8411-8421.
- [25] 李晓赛,朱永明,赵丽,等.基于价值系数动态调整的青龙县生态系统服务价值变化研究[J].中国生态农业学报,2015,23(3):373-381.
- [26] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等.一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J].自然资源学报,2008,23(5):911-919.
- [27] 岳东霞,杜军,巩杰,等.民勤绿洲农田生态系统服务价值变化及其影响因子的回归分析[J].生态学报,2011,31(9):2567-2575.
- [28] 张骞.1988—2013年重庆市主城九区生态用地空间结构及其生态系统服务价值变化[J].生态学报,2017,37(2):566-575.