

DOI: 10.11934/j.issn.1673-4831.2018.04.003

吴娇,李月臣.三峡库区(重庆段)景观格局变化及其对生态系统服务价值的影响[J].生态与农村环境学报,2018,34(4):308-317.

WU Jiao,LI Yue-chen.Variation of Landscape Pattern and Its Influences on Ecosystem Service in Value in Three Gorges Reservoir Area (Chongqing Section)[J].Journal of Ecology and Rural Environment,2018,34(4):308-317.

## 三峡库区(重庆段)景观格局变化及其对生态系统服务价值的影响

吴 娇<sup>1,2,3</sup>, 李月臣<sup>2,3,4</sup> (1. 重庆师范大学地理与旅游学院, 重庆 401331; 2. GIS应用研究重庆市重点实验室, 重庆 401331; 3. 三峡生态环境遥感研究所, 重庆 401331; 4. 重庆师范大学职教师资学院, 重庆 401331)

**摘要:** 以具有重要生态地理位置的三峡库区(重庆段)为研究区,结合2000—2015年Landsat TM数据,运用统计和网络分析法,从时空角度研究景观格局和生态系统服务价值的变化及其两者间的相互关系。结果表明,整体而言,研究区耕地和林地所占比例较大,草地、水域、建设用地和其他用地所占比例较小,建设用地面积增加最快;从时间上看,2000—2015年斑块密度、最大斑块面积指数呈先减少后增加的趋势,聚集度最大值和香农多样性指数最小值出现在2010年;2000—2015年生态服务价值总量先增加后减少,2010年达最大;从空间上看,景观破碎度逐渐从库区东北、东南向各区县建成区及主城区转移,东北与东南地区的景观完整性逐渐提高;生态系统服务价值低值区集中于各区县建成区,主城区生态服务价值最低,长江流域西侧的生态服务价值低于东侧。合理的景观格局对提高该区域的生态系统服务价值具有重要意义。

**关键词:** 景观格局; 生态系统服务价值; 时空变化; 三峡库区(重庆段)

**中图分类号:** X826 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4831(2018)04-0308-10

**Variation of Landscape Pattern and Its Influences on Ecosystem Service in Value in Three Gorges Reservoir Area (Chongqing Section).** WU Jiao<sup>1,2,3</sup>, LI Yue-chen<sup>2,3,4</sup> (1. College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China; 2. Key Laboratory of GIS Application, Chongqing 401331, China; 3. Institute of Eco-environment Remote Sensing in Three Gorges Reservoir, Chongqing 401331, China; 4. Vocation Education Teachers College, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

**Abstract:** The Chongqing Section of the Three-Gorge Reservoir Area with important eco-geographical significance was hence selected as subject of study. The method of statistics and network analysis was applied with the Landsat TM Remote Sensing Data of the region dated from 2000 to 2015 to study variation of the landscape pattern and ecosystem service value from the spatio-temporal aspect and their relationship. Results show: (1) On the whole, cultivated land and forest land still accounted for a large portion, while the other fractions of landscape, like grassland, water surface and construction land, only for small portions, separately. However, the fraction of construction land expanded the fastest; (2) Temporally speaking, during the period from 2000 to 2015 the indices of patch density and largest patch area decreased first and came backwards, and the maximum value of Landscape aggregation index and the minimum value of Shanon's diversity index appeared in 2010; and the total ecosystem service value exhibited a rising and then falling trend, and peaked in 2010; (3) Spatially speaking, the center of landscape fragmentation shifted gradually from the northeast and southeast of the region to well-built areas of the districts and counties and the main urban zone and the index of landscape integrity gradually increased in the northeast and southeast; The areas low in ecosystem service value were concentrated in the well-built areas, and the main urban zone was the lowest and the area on the west of the Yangtze River was lower than that on the east. All the findings demonstrate that a reasonable landscape pattern is of great significance to increasing ecosystem service value of a place like the Three-Gorge Reservoir Area (Chongqing Section).

收稿日期: 2017-07-07

基金项目: 国家自然科学基金(41571419); 重庆市研究生科研创新项目(CYS17186)

① 通信作者 E-mail: liyuechen@cqnu.edu.cn

**Key words:** landscape pattern; ecosystem service value; spatio-temporal variation; Three-Gorge Reservoir Area (Chongqing Section)

生态系统服务价值是对生态系统给人类带来的社会产品和服务的经济度量<sup>[1]</sup>。近年来,人口增长、城市发展导致景观格局变化,使生态功能用地锐减,生态系统服务功能退化,生态系统服务价值降低<sup>[2]</sup>。景观格局是人类活动与自然因素综合作用的结果,是土地利用时空变化研究的重要分析手段<sup>[3]</sup>,景观格局变化影响着景观中的能量流动、物质循环<sup>[4]</sup>。因此如何从景观格局角度定量研究地表覆被变化、生态服务价值的时空分异规律以及对生态系统服务价值的影响,对提高区域生态稳定性、维持生态系统健康具有重要意义。

景观动态反映了景观随时间变化的幅度、韵律和趋势<sup>[5]</sup>,景观格局指数则是对景观格局信息的高度概括,是反映景观结构组成、空间配置特征的量化指标<sup>[6]</sup>。当前,采用景观动态变化和景观格局指数评估景观格局演变对生态系统服务价值的影响已成为研究热点,国内外学者对流域<sup>[7]</sup>、湿地<sup>[8]</sup>、平原<sup>[9]</sup>、城市<sup>[2]</sup>等不同类型生态系统的景观格局变化及其对生态服务价值的影响展开了研究。三峡库区作为生态敏感区<sup>[10]</sup>,库区建成后生态问题成为大多数学者关注的焦点。近年来,对三峡库区生态价值研究较多,马骏等<sup>[11]</sup>研究了该区域生态系统服务价值的动态变化规律及其内部差异变化,结果表明在研究时段内库区生态服务价值重心随时间推移总体上向东南迁移,空间分布具有一定的聚集性;姜永华等<sup>[12]</sup>主要从时间尺度上分析了生态系统服务价值对土地利用变化的响应,结果发现草地、林地减少较多,建设用地增幅较大,生态服务价值减少;国洪磊等<sup>[13]</sup>在分析库区蓄水前后土地利用差异的基础上评价了其对生态系统服务价值的影响;严恩萍等<sup>[14]</sup>结合驱动因子,从时间和空间角度分析了生态系统服务价值的动态变化;而 FENG 等<sup>[15]</sup>、张宝雷等<sup>[16]</sup>主要研究了三峡库区局部地区的生态系统服务价值对土地利用/覆被变化的响应。分析发现,这些研究侧重于景观格局和生态系统服务价值某一方面在时空上的变化差异;已有研究主要集中于对研究区综合景观指数的研究,对景观指数的区域空间分异研究较少,缺乏将景观格局与生态服务价值相结合的空间分析和空间辨识。三峡库区(重庆段)生态地位显著<sup>[10]</sup>,是中国乃至世界重要的生态调节系统,该研究以具有重要生态地位的三峡库区(重庆段)为研究区域,拟通过网络分析法研究景

观格局指数和生态系统服务价值的时空变化分布规律,并分析不同时期内景观格局指数与生态系统服务价值的相互关系,为提高三峡库区(重庆段)生态系统服务价值,维持地区景观稳定提供科学依据和参考。

## 1 研究区域与数据来源

### 1.1 研究区概况

三峡库区(重庆段)位于长江上游下段,横跨3大经济区域中的都市经济发达区和三峡库区生态经济区,地理范围在北纬 $28^{\circ}28' \sim 31^{\circ}44'$ ,东经 $105^{\circ}49' \sim 110^{\circ}12'$ 之间,总面积为 $4.6148$ 万 $\text{km}^2$ ,覆盖整个三峡库区 $85.6\%$ 的面积,包括重庆市22个区县(图1),该区域地貌以山地、丘陵为主,有着极为重要的生态地理位置。

三峡库区(重庆段)东高西低,四季分明,气候类型明显,平均气温在 $15 \sim 18^{\circ}\text{C}$ 之间,该区域多年年平均降雨量达 $1150.26$  mm,雨量充沛但空间分布不均匀。库区土地资源总量多,但人均土地面积少。土壤类型主要有紫色土、粗骨土、石灰土和水稻土等。库区内植被类型多,且全区矿产资源种类繁多,资源丰富。

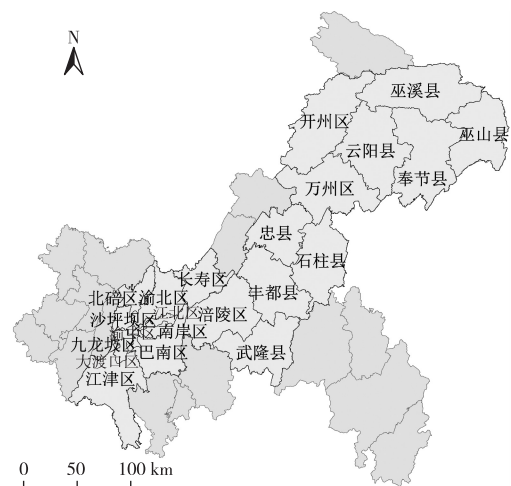


图1 研究区位置示意

Fig. 1 Geographic location of the study area

### 1.2 数据来源与处理

研究使用的景观覆被类型数据来源于2000、2005、2010和2015年月份相近(6—9月)且云量较少的TM影像(<http://www.csdb.cn/>),分辨率为30

m。以1:10万地形图作为参考,利用ENVI 5.0软件进行图像预处理、融合和增强处理,选择5、4、3波段进行波段合成,通过研究区的矢量图层进行裁剪,得到三峡库区(重庆段)4期遥感影像。研究时段粮食产量、以及对应当年播种的粮食面积和对应的全国粮食单价数据来源于统计年鉴(<http://www.cqtj.gov.cn/tjsj/sjzl/tjnj/>和<http://www.stats.gov.cn/>)。

结合研究区具体情况,参照GB/T 21010—2007《土地利用现状分类标准》,结合实地调查的土地利用数据在ENVI 5.0软件的支持下对图像进行监督分类,将研究区景观类型分为6大类:耕地、林地、草地、水域、建设用地和其他用地。最后通过野外采样点对分类结果进行精度验证,4期影像的精度都超过93%,达到精度要求。

## 2 研究方法

### 2.1 景观格局指数选取

为了解研究区域景观格局的整体情况,从景观水平上的景观破碎程度、聚集度、异质性和几何状况分别选择斑块密度(PD)、蔓延度指数(CONTAG)、香农多样性指数(SHDI)、最大斑块指数(LPI)这4个指标。其中斑块密度值越大,景观破碎化程度越高;蔓延度指数值越大,说明景观中某种优势拼块类型形成了良好的连接性,景观的破

碎化程度就越小;香农多样性指数值增大,景观丰富度增加,景观破碎化程度增加;最大斑块指数值越小,人类活动强度较大,景观破碎化程度越高。各个景观格局指数的具体含义及计算模型参见文献[7]。

为了更直观地分析三峡库区(重庆段)近15a景观指数的空间变化,借鉴前人的研究方法<sup>[17]</sup>,应用网格分析法研究景观指数的空间变化差异,根据研究区范围大小和地表覆被特征,在ArcGIS 10.1软件中创建20 km×20 km的格网,共计划分为111个格网,在Fragstats 4.2软件中计算不同时期各个格网的景观指数,采用Kring插值对这4个景观格局指数进行插值,得到三峡库区(重庆段)景观格局指数的空间分布图。

### 2.2 生态服务功能生态价值的确定

根据CONSTANZA等<sup>[1]</sup>和谢高地等<sup>[18]</sup>的研究成果,以2000、2005、2010和2015年研究区粮食平均种植面积为依据,参考当年全国粮食平均价格,计算出三峡库区单位面积农田生态系统提供粮食生产服务的经济价值为1 259.68元·hm<sup>-2</sup>,在此基础上,结合“中国生态系统服务价值当量表”<sup>[19]</sup>,并根据三峡库区(重庆段)具体情况,结合生物量修订公式<sup>[20]</sup>,对该区域的生态系统服务价值当量表进行修订,得到三峡库区(重庆段)生态系统单位面积生态服务功能价值表(表1)。

表1 三峡库区(重庆段)生态系统单位面积生态服务功能价值表

Table 1 Ecosystem service value per unit area of the Three-Gorge Reservoir Area (Chongqing Section) 元·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>

生态服务类型	耕地	林地	草地	水域	建设用地	其他用地
气体调节	629.84	4 408.89	1 007.75	0.00		0.00
气候调节	1 121.12	3 401.15	1 133.72	579.45		0.00
水源涵养	755.81	4 030.99	1 007.75	25 672.35	-6 678.00	37.79
土壤形成与保护	1 839.14	4 912.77	2 456.38	12.60	-2 174.00	25.19
废物处理	2 065.88	1 650.19	1 650.19	22 901.65		12.60
生物多样性	894.38	4 106.57	113.37	3 136.61		428.29
食物生产	1 259.68	125.97	377.91	125.97		12.60
原材料	125.97	3 275.18	62.98	12.60		0.00
娱乐文化	12.60	2 746.11	50.39	5 467.03	214.00	12.60
总计	8 704.41	28 657.80	7 860.43	57 907.66	-8 638.00	529.07

建设用地单位面积的生态系统服务价值参考彭文甫等<sup>[21]</sup>的研究。

根据下列公式计算三峡库区(重庆段)生态系统服务价值:

$$V_{ES} = \sum_{k=1}^m A_k C_k, \quad (1)$$

$$C_i = \frac{V_{ES,i}}{S}. \quad (2)$$

式(1)~(2)中, $V_{ES}$ 为生态系统服务总价值,元; $A_k$ 为 $k$ 类景观的分布面积,km<sup>2</sup>; $C_k$ 为 $k$ 类景观单位面积的生态系统服务价值,元·km<sup>-2</sup>; $m$ 为研究区景观种类; $C_i$ 为第 $i$ 个格网单位面积的生态系统服务价值,万元·km<sup>-2</sup>; $V_{ES,i}$ 为第 $i$ 个格网的生态系统服务总价值,万元; $S$ 为对应的格网面积,km<sup>2</sup>。

### 2.3 生态服务价值敏感性的计算

为了验证研究区生态系统服务价值随时间变化对生态价值指数变化的依赖程度及生态价值系数的准确性,采用敏感性指数( $CS, S_c$ )来确认价值系数的准确性,其计算公式<sup>[15]</sup>为

$$S_c = \left| \frac{(V_{ES,j} - V_{ES,i})/V_{ES,i}}{(C_{V,jk} - C_{V,ik})/C_{V,ik}} \right| \quad (3)$$

式(3)中, $S_c$ 为生态服务价值敏感指数; $V_{ES,i}$ 、 $V_{ES,j}$ 为价值系数调整前后的生态系统服务总价值; $C_{V,ik}$ 、 $C_{V,jk}$ 为分别为第*k*类土地利用类型价值系数的原始值和调整后的价值系数。如果 $S_c > 1$ ,表明估算生态系统服务价值具有弹性,生态价值系数准确度较低;如果 $S_c < 1$ ,表明生态系服务统价值缺乏弹性,生态价值系数的准确性较高,估算的生态系统服务价值比较符合研究区实际情况。

## 3 结果与分析

### 3.1 2000—2015年三峡库区(重庆段)景观格局的动态变化

2000、2005、2010和2015年三峡库区(重庆段)

表2 2000—2015年三峡库区(重庆段)景观覆盖面积及比例

Table 2 Coverage and proportion of landscape by type in the Three-Gorge Reservoir Area (Chongqing Section) of the period from 2000 to 2015

土地类型	2000年		2005年		2010年		2015年	
	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%
耕地	22 299.69	48.227	21 345.63	46.165	18 923.15	40.925	18 415.73	39.828
林地	17 919.72	38.755	18 163.31	39.282	23 177.42	50.126	23 135.92	50.036
草地	4 782.28	10.343	5 071.76	10.969	1 527.24	3.303	1 241.26	2.685
水域	777.44	1.681	926.96	2.005	1 261.92	2.729	1 317.31	2.849
建设用地	449.94	0.973	728.13	1.575	1 338.23	2.894	2 113.61	4.571
其他用地	9.89	0.021	2.31	0.005	10.15	0.022	14.27	0.031

由图2可以看出,2000—2015年景观覆盖类型变化十分显著,其中草地、水域和建设用地变化最为明显;人类改造自然的的活动能力增强,社会发展较好,建设用地扩展迅速,主城9区一带的建设用地增长最为明显;主城9区、长寿区、涪陵区、丰都和忠县的耕地面积减少幅度较大,三峡库区(重庆段)以丘陵山地为主,研究区不合适机械化耕作,且大量劳动力外出,使得大多数耕地荒废,退耕还林政策的推行使这些地区大部分耕地转为林地;2000—2005年草地主要集中分布在石柱县东部、丰都县东南部、万州区、云阳县和奉节县,由于草地相对容易开发,且1993年三峡工程开始修建,草地被淹,植树造林政策的深入贯彻致使草地面积骤减,林地面积增加;水域面积显著增加,主要是因为三

峡大坝建成及正式投入使用后,整个长江流域水面拓宽,导致流域周边区域被淹。

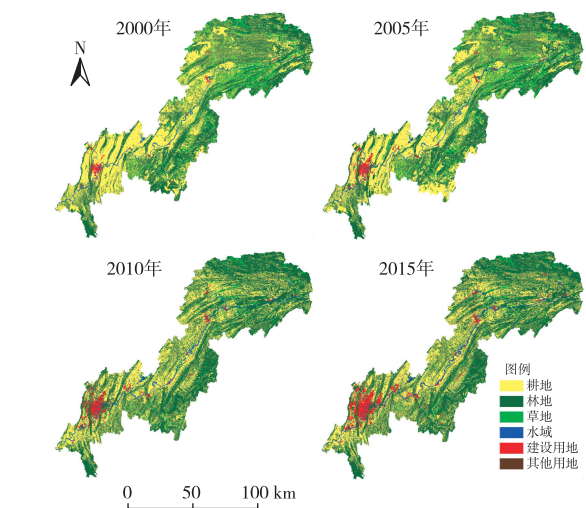


图2 2000—2015年三峡库区(重庆段)景观覆盖类型空间分布图

Fig. 2 Spatial distribution of landscape by type in the Three-Gorge Reservoir Area (Chongqing Section) of the period from 2000 to 2015

峡大坝建成及正式投入使用后,整个长江流域水面拓宽,导致流域周边区域被淹。

从表2可知,耕地和林地所占比例较大,草地、水域、建设用地和未利用地所占比例较小;景观利用程度高,未利用地面积所占比例一直最小,2000—2015年其他用地面积所占比例不足0.05%;社会经济转型,城镇化与三峡移民引发的安置、迁建等因素使建设用地扩展较快,2000—2015年建设用地面积从449.94增加到2 113.61 km<sup>2</sup>,所占比例从0.973%增加到4.571%;2000—2015年林地面积比例由38.755%增加到50.036%,其中2010年林地面积比例最大,生态环境有所改善;三峡大坝建成后,水库高水位蓄水造成水域面积逐渐增加,2000—2015年水域面积从777.44增加到1 317.31 km<sup>2</sup>。

由表 3 可知,2000—2010 年三峡库区(重庆段)斑块密度呈先下降后上升的趋势,其中 2015 年斑块密度最大,2005 年最小,说明 2000—2005 年库区景观破碎化程度减弱,在 2005 年破碎化程度达最低,2005 年后库区景观破碎度又逐渐增加,并在 2015 年破碎化程度达最大;2000—2015 年三峡库区(重庆段)最大斑块指数呈先减少后增大的趋势,在 2000 年达到最大值,为 11.480,最小值出现在 2010 年,为 6.412,表明库区内的景观完整程度较低;研究时段内景观聚集度指数数值呈先下降后上升再下降的变化趋势,最大值为 64.092%,最小值为 62.897%,说明 2000—2015 年景观整体连通性较好;香农多样性指数呈“N”型变化轨迹,其中 2010 年最小,为 1.027,2005 年达最大,为 1.111,说明三峡库区(重庆段)景观变化幅度较小,景观类型丰富度较高,破碎化程度较大。

表 3 2000—2015 年三峡库区(重庆段)景观指数变化

Table 3 Variation of landscape indices of the Three-Gorge Reservoir Area (Chongqing Section) of the period from 2000 to 2015

年份	斑块密度 (PD)	最大斑块指数 (LPI)	景观聚集度指数 (CONTAG)	香农多样性指数 (SHDI)
2000	0.656	11.48	64.092	1.069
2005	0.583	9.175	62.896	1.111
2010	0.651	6.412	64.846	1.027
2015	0.873	10.83	63.760	1.055

### 3.2 景观指数的空间变化

由图 3 可以看出,2000—2005 年三峡库区(重庆段)主城及其周围区域的斑块密度较低,而其他地区相对较高,说明主城及其周围区域的景观完整性好;2010 年后景观分布格局发生显著变化,景观破碎化程度逐渐向主城及主城周围转移,而研究区东北地区破碎化程度明显减弱。

由图 4 可以看出,2000—2005 年三峡库区(重庆段)景观聚集度指数的变化趋势较为一致,连接度高值区主要分布在主城和库区南部,在库区东北部出现了低值区,说明 2000—2005 年主城及库区南部景观连接度良好,主城及库区东北共有 3 个低值区,而库区东部和东北部出现高值区。

由图 5 可以看出,三峡库区(重庆段)香农多样性指数呈斑块状分布,2000—2005 年低值区集中分布在库区主城周围和库区南部,高值区分布在东北部,说明 2000—2005 年库区东北部景观破碎化程度高;2010—2015 年高值区分布在长江流域一带,低值区分布在库区东北部和东部,说明库区东北部和

东部景观类型单一,景观格局完整。

由图 6 可以看出,2000—2005 年三峡库区(重庆段)最大斑块指数高值区分布在主城周围、库区南部和东北边缘,而库区东北部出现 2 次低值区;2010—2015 年出现 2 次低值区,集中在主城和库区东北部,高值区分布在库区东北边缘和东部,说明 2010—2015 年主城和库区东北部人类活动强度较大,景观破碎化程度较高。

### 3.3 敏感性指数分析

由表 4 可知,三峡库区(重庆段)的景观类型生态价值系数在增加或减少 50% 时,该研究区的敏感性指数(CS)均小于 1,说明估算的生态系统服务价值系数不具有弹性,准确性较高,适用于三峡库区(重庆段)。其中,林地的敏感性指数最高,其次是耕地,未利用地最小,而耕地与林地所占面积比例较大,其他用地可忽略不计,这证明林地、耕地在三峡库区(重庆段)生态系统服务价值中具有重要地位,而未利用地对其影响不大。

### 3.4 生态服务价值变化

#### 3.4.1 生态服务价值的时间变化特征

从表 5 可知,2000—2015 年三峡库区(重庆段)生态服务价值总量呈先增后减的趋势,其中 2000 年为 786.37 亿元,2005 年为 793.58 亿元,2010 年为 902.45 亿元,2015 年为 891.11 亿元;其中 2005—2010 年变化幅度最大,共增加 108.88 亿元,变化率为 13.72%,2000—2005 年增加 7.20 亿元,变化率为 0.92%,2010—2015 年减少 11.34 亿元,变化率为 -1.26%。

从生态系统服务价值类型看,气体调节、气候调节、水源涵养、废物处理、维持生物多样性和原材料的价值量在研究时段内呈先增加后减少的趋势,这 6 种生态服务价值量均在 2010 年达最大值,原因是 2000—2010 年间林地与水域面积逐渐增大,2010—2015 年间这 2 种景观类型变化幅度较小,但 2010—2015 年建设用地面积增加较明显,导致 2015 年生态服务价值总量降低。2005—2010 年间,娱乐文化的生态服务价值总量变化幅度最大,变化率为 27.90%;食物生产的价值量持续减少,2005—2010 年减少量最多,减少 3.72 亿元,变化率为 -11.91%;土壤形成与保护的价值量变化规律为先减少后增加而后再减少,娱乐文化的价值总量呈逐年增加趋势,这 2 种类型的生态服务价值总量在 2005—2010 年期间变化较大。

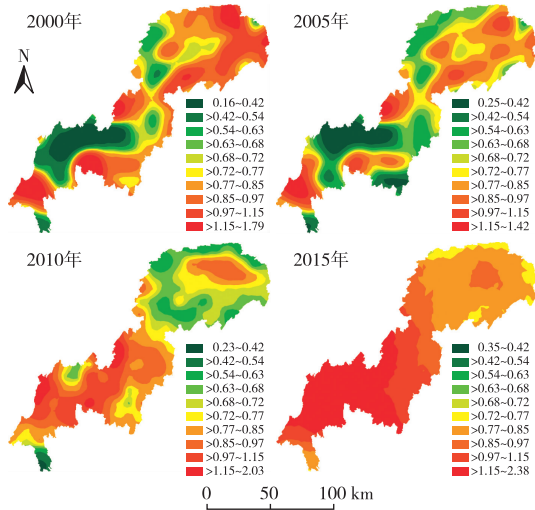


图 3 2000—2015 年三峡库区(重庆段) 斑块密度的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of the index of patch density in the Three-Gorge Reservoir Area (Chongqing Section) of the period from 2000 to 2015

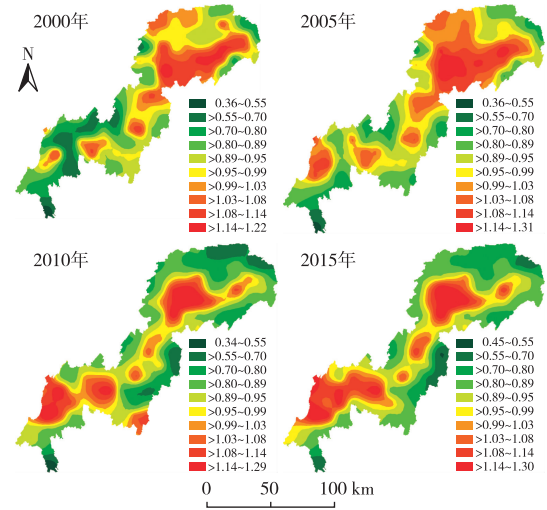


图 5 2000—2015 年三峡库区(重庆段) 香农多样性指数的空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of the index of Shannon's diversity in the Three-Gorge Reservoir Area (Chongqing Section) of the period from 2000 to 2015

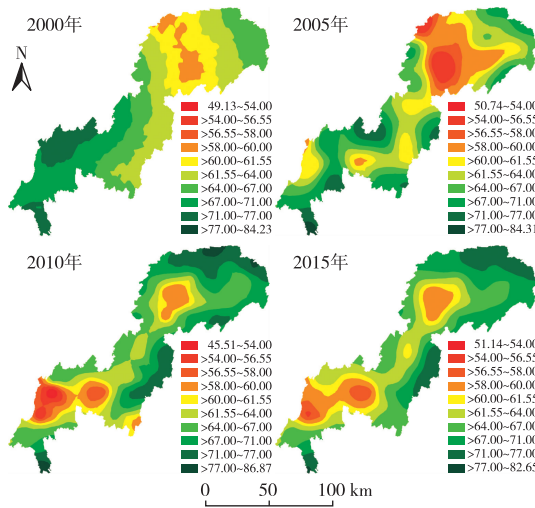


图 4 2000—2015 年三峡库区(重庆段) 景观聚集度指数的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of the index of landscape aggregation in the Three-Gorge Reservoir Area (Chongqing Section) of the period from 2000 to 2015

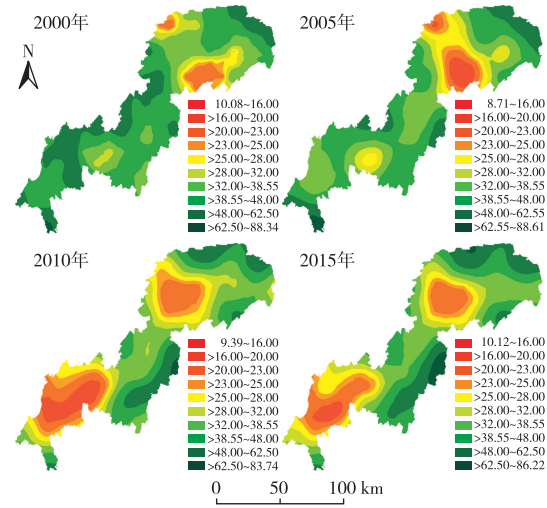


图 6 2000—2015 年三峡库区(重庆段) 最大斑块指数的空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of the index of largest patch area in the Three-Gorge Reservoir Area (Chongqing Section) of the period from 2000 to 2015

表 4 2000—2015 年三峡库区(重庆段)生态系统服务价值敏感性指数变化

Table 4 Variation of the sensitivity index of ecosystem services value of the Three-Gorge Reservoir Area (Chongqing Section) of the period from 2000 to 2015

年份	耕地	林地	草地	水域	建设用地	其他用地
2000	0.143	0.468	0.029	0.030	0.003	0.000
2005	0.136	0.463	0.032	0.036	0.003	0.000
2010	0.103	0.565	0.008	0.043	0.005	0.000
2015	0.100	0.574	0.007	0.046	0.007	0.000

其他用地的敏感性指数值较小,几乎可以忽略不计,所以保留 3 位小数后值为 0.000。

表 5 三峡库区(重庆段)生态服务价值及其变化

Table 5 Ecosystem service value of the Three-Gorges Reservoir Area (Chongqing Section) and its evolution

生态服务类别	生态服务价值/亿元				变化率/%		
	2000年	2005年	2010年	2015年	2000—2005年	2005—2010年	2010—2015年
气体调节	97.87	98.64	115.64	114.85	0.78	17.24	-0.68
气候调节	91.82	91.99	102.51	101.51	0.19	11.43	-0.98
水源涵养	110.86	113.40	132.73	128.13	2.28	17.05	-3.46
土壤形成与保护	139.83	139.38	149.53	146.00	-0.32	7.28	-2.36
废物处理	101.34	103.67	108.76	108.44	2.30	4.91	-0.29
生物多样性	96.52	97.16	116.24	115.76	0.67	19.63	-0.41
食物生产	32.25	31.21	27.49	26.75	-3.23	-11.91	-2.71
原材料	61.81	62.51	78.41	78.19	1.13	25.43	-0.28
娱乐文化	54.08	55.63	71.15	71.48	2.86	27.90	0.47
总计	786.37	793.58	902.45	891.11	0.92	13.72	-1.26

### 3.4.2 生态服务价值的空间变化特征

考虑到斑块面积不一致,因此各斑块的生态服务价值总量存在差别,该研究从每个斑块的单位面积生态服务价值角度来分析生态服务价值在空间上的变化特征,得到三峡库区(重庆段)生态服务价值的空间分布情况如图 7 所示。

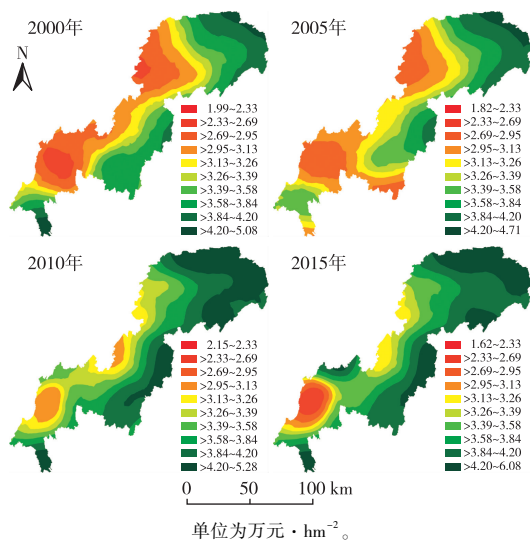


图 7 2000—2015 年三峡库区(重庆段)生态服务价值空间分布图

Fig. 7 Spatial distribution of ecosystem service value of the Three-Gorge Reservoir Area (Chongqing Section) during the period from 2000 to 2015

由图 7 可以看出,2000—2015 年生态系统服务价值低值区集中于各区县建成区,主城区生态服务价值最低;长江流域西侧的生态服务价值明显低于长江流域东侧;研究期内生态服务价值的空间分布没有发生明显变化,大体保持一致,这与三峡库区(重庆段)景观格局分布相吻合。2000—2015 年建设用地集中于主城区,以万州—云阳为次中心,沿

长江流域向下游延伸,水库的建成及高水位蓄水使水域从重庆市主城区的长江主干及其支流沿岸扩张,林地主要集中于江津南部、武隆—石柱、万州—巫山段。2000—2010 年大量耕地、草地向林地与建设用地转化,2010 与 2015 年景观格局分布基本一致,但 2015 年以主城为中心的建设用地增加趋势明显。林地与水域单位面积生态服务价值较高,耕地与草地较小,而建设用地提供的生态服务价值为负值,林地面积基数较大,而水域所占面积较小,因而在研究期间内,三峡库区(重庆段)生态系统服务价值的空间分布格局大体趋势保持一致。

### 3.5 生态系统服务价值对景观格局变化的响应

根据三峡库区(重庆段)不同类型景观面积变化量计算其对应的生态系统服务价值变化量。由表 6 可知,在 2000—2005、2005—2010 和 2010—2015 年 3 个时间段内,三峡库区(重庆段)林地和水域对生态服务价值增加的贡献率较大,2005—2010 年期间,林地、水域面积分别增加 5 002.58 和 334.13 km<sup>2</sup>,生态系统服务价值分别增加 143.36 亿和 19.35 亿元;耕地、草地面积逐年减少,使生态系统服务价值也逐年减少,2005—2010 年耕地、草地面积变化幅度较大,面积分别减少 2 419.18 和 3 535.03 km<sup>2</sup>,生态系统服务价值分别减少 21.06 亿和 27.79 亿元;建设用地面积增加对生态系统服务价值的贡献率为负,在研究的 3 个时段内,建设用地增加导致生态服务价值分别减少 2.40 亿、5.27 亿和 6.27 亿元;未利用地变化较少,对生态系统服务价值的影响可忽略不计。

20 世纪 90 年代末国家实施了一系列耕地保护政策,使耕地面积在 2000 年达到最大值,这与 2000 年耕地是三峡库区(重庆段)主导景观类型的结果相吻合;1998 年以来,三峡库区实施了退耕还林政

策,先后开展了森林工程、天然林保护工程和长江生态屏障工程等,但政策与生态工程的效应是一个累积与滞后的反映过程,这些环境保护措施在2005年后才成为改变景观格局的驱动力量,大面积耕地、草地向林地转化,2005—2010年间林地产生的生态系统服务价值增加较快;随着三峡大坝的修

建,大江截流与试验性蓄水使长江流域沿线及支流沿岸的耕地、林地等被淹,水域面积逐年增加,生态系统服务价值也随之增加;2005年以后,经济转型、迁建促使大量农业人口向城市涌进,建设用地明显扩张,建设用地增加导致的生态服务价值减少进一步加剧。

表6 2000—2015年三峡库区(重庆段)不同景观类型面积及生态服务价值动态变化

Table 6 Dynamics of area and ecological service value of landscape by type in the Three-Gorge Reservoir Area (Chongqing Section) during the period from 2000 to 2015

景观类型	面积变化/km <sup>2</sup>			生态服务价值变化/亿元		
	2000—2005年	2005—2010年	2010—2015年	2000—2005年	2005—2010年	2010—2015年
耕地	-957.60	-2 419.18	-490.17	-8.34	-21.06	-4.27
林地	246.35	5 002.58	25.12	7.06	143.36	0.72
草地	290.15	-3 535.03	-281.62	2.28	-27.79	-2.21
水域	149.49	334.13	56.90	8.66	19.35	3.30
建设用地	278.18	609.86	775.63	-2.40	-5.27	-6.70
未利用地	-7.58	7.64	4.32	0	0	0

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

景观格局对生态系统服务价值的影响具有区域性特征。不同时期、不同生态系统的生态服务价值对景观格局指数响应的程度也不同。如张明阳等<sup>[22]</sup>对典型喀斯特地区研究表明,最大斑块指数、蔓延度指数、聚集度指数与生态系统服务价值呈正相关,斑块丰富度与生态系统服务价值呈负相关;刘焱序等<sup>[23]</sup>对秦岭山区景观研究表明,景观分离度降低、聚集度提高可以导致生态系统服务价值量增大;许吉仁等<sup>[24]</sup>对南四湖湿地景观研究表明,景观格局破碎化使生态服务价值降低,其中对供给功能和调节功能影响最大;顾泽贤等<sup>[25]</sup>对澜沧县景观研究表明,生态系统服务价值与斑块密度、香农多样性指数呈负相关,与蔓延度、最大斑块指数呈正相关;而笔者研究表明,生态系统服务价值空间分布趋势与斑块密度空间分布关联较小,与最大斑块指数和景观连接度的分布趋势大致相同,与景观多样性空间分布趋势相反。这是因为笔者从景观水平计算三峡库区(重庆段)景观指数,分别从不同时期生态系统服务价值对景观指数的响应进行分析,而以往研究是从整体分析生态系统服务价值与景观指数的关系,这种差异验证了景观格局对生态系统服务价值的影响具有阶段性和区域性的特征。

生态系统服务价值受景观格局空间分布格局影响,它同时受社会措施和地形起伏的影响。景观格局空间分布对生态系统服务价值的空间格局起

关键性作用,2000—2015年生态系统服务价值低值区集中于各区县建成区,主城区生态服务价值最低,耕地与林地基数较大,而林地单位面积生态服务功能较高,林地分布较为集中,生态系统服务价值高值区主要集中在林地分布区域,这与国洪磊等<sup>[13]</sup>的分析一致,也符合三峡库区生态系统服务价值的实际分布规律。三峡库区的生态环境一直受国家的高度重视,1998年以来实施了退耕还林政策,之后相继实施了一系列生态保护工程,建立了渝东南生态发展保护区和东北水源涵养区,但1997年重庆市直辖以后,城镇在原有基础上明显扩张,西部成为城市发展新区和重点开发区,大量耕地、草地向建设用地、林地转变,景观破碎度也逐渐从库区东北、东南部向各区县建成区及主城转移,东北与东南地区的景观连接度增大,说明社会政策能驱动景观格局变化<sup>[26]</sup>,从而对生态服务价值产生影响。地形起伏对土地利用方式<sup>[27]</sup>、居住环境适宜性<sup>[28]</sup>等方面产生影响,从而对景观空间布局产生作用。城镇建设用地、耕地一般集中于地表起伏缓和区<sup>[29]</sup>,地形复杂地区多为林地<sup>[28]</sup>,三峡库区(重庆段)地表起伏度从东到西、从北到南呈降低趋势<sup>[30]</sup>,生态系统服务价值分布趋势与地表起伏保持一致;而城市扩张使景观破碎度逐渐从东到西、从北到南转移,西部景观多样性增大。

该研究的数据来源于遥感影像,数据的空间尺度与网格分辨率也会影响景观格局指数的计算结果。生态系统服务价值受景观格局分布等因素的综合影响,笔者根据三峡库区(重庆段)景观生态系



统结构与功能的匹配情况,通过选取不同景观格局指数与生态系统服务价值之间的关系进行研究,其研究结果区域性较强。同时景观指数在不同时间和空间应用时的双面特征还有待于进一步探究。

#### 4.2 结论

笔者在运用前人提出的网络分析法分析景观格局指数的基础上,为研究景观格局与生态服务价值在空间上的相互关系提供了一个新的思考方向。研究表明:(1)研究区耕地和林地所占比例较大,草地、水域、建设用地和未利用地所占比例较小,其中建设用地面积增加较快,其次是水域。(2)从时间上看,2000—2015年三峡库区(重庆段)斑块密度、最大斑块指数呈现先减少后增加的变化趋势,斑块密度最小值出现在2005年,最大斑块指数最大值出现在2000年;香农多样性指数先增加后减少再增加,景观连接度则出现先减少后增加再减少的变化趋势,但这2种景观指数变化幅度相对较小;2000—2015年生态服务价值总量先增加后减少,其中2010年生态系统服务价值达最大。(3)从空间上看,2000—2015年主城及其周围区域斑块密度逐渐增大,库区东北部则逐渐减少;斑块连接度良好的地区逐渐从主城和库区西南部向库区东北部转移;主城及库区西南部景观多样性逐渐增加,库区北部则逐渐下降;主城及库区西南部最大斑块指数逐渐降低,东北部和东部该指标则逐渐增大;长江流域西侧的生态服务价值低于东侧,这主要与城市的集中分布有关,主城及其周围区域的生态服务价值一直较低,而库区北部一带的生态服务价值一直较高。(4)15 a间,库区林地、水域面积增加,特别是林地生态系统服务价值增加幅度较大,仅在2005—2010年就增加143.36亿元,使三峡库区(重庆段)的生态系统服务总价值呈上升趋势,说明2000—2015年间三峡库区(重庆段)生态环境在逐渐改善。

#### 参考文献:

- [1] COSTANZA R, D'ARCE R, GROOT R D, *et al.* The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital[J]. *Nature*, 1997, 387(3360): 253-260.
- [2] 彭文甫, 周介铭, 罗怀良, 等. 城市土地利用变化对生态系统服务价值损益估算: 以成都市为例[J]. *水土保持研究*, 2011, 18(4): 43-51, 277. [PENGE Wen-fu, ZHOU Jie-ming, LUO Huai-liang, *et al.* Estimation on Gain and Losses of Ecosystem Service Value of Urban Land Use: A Case Study of Chengdu City[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2011, 18(4): 43-51, 277.]
- [3] 李伟峰, 欧阳志云, 肖懿. 景观生态学原理在城市土地利用分类中的应用[J]. *生态学报*, 2011, 31(3): 593-601. [LI Wei-feng, OUYANG Zhi-yun, XIAO Yi. Applying Landscape Ecological Concepts in Urban Land Use Classification[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(3): 593-601.]
- [4] SOLER L D S, VERBURG P H. Combining Remote Sensing and Household Level Data for Regional Scale Analysis of Land Cover Change in the Brazilian Amazon[J]. *Regional Environmental Change*, 2010, 10(4): 371-386.
- [5] 肖笃宁, 李秀珍, 高俊等. 景观生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 156-164. [XIAO Du-ning, LI Xiu-zhen, GAO Jun, *et al.* *Landscape Ecology*[M]. Beijing: Science Press, 2003: 156-164.]
- [6] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2007: 106-124. [WU Jian-guo. *Landscape Ecology: Pattern, Process, Scale and Hierarchy*[M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2007: 106-124.]
- [7] KOZAK J, LANT C, SHAIKH S, *et al.* The Geography of Ecosystem Service Value: The Case of the Des Plaines and Cache River Wetlands, Illinois[J]. *Applied Geography*, 2011, 31(1): 303-311.
- [8] BRANDER L, BROUWER R, WAGTENDONK A. Economic Valuation of Regulating Services Provided by Wetlands in Agricultural Landscapes: A Meta-Analysis[J]. *Ecological Engineering*, 2013, 56: 89-96.
- [9] POSTHUMUS H, ROUQUETTE J R, MORRIS J, *et al.* A Framework for the Assessment of Ecosystem Goods and Services: A Case Study on Lowland Floodplains in England[J]. *Ecological Economics*, 2010, 69(7): 1510-1523.
- [10] 李月臣, 刘春霞, 闵婕, 等. 三峡库区生态系统服务功能重要性评价[J]. *生态学报*, 2013, 33(1): 168-178. [LI Yue-chen, LIU Chun-xia, MIN Jie, *et al.* RS/GIS-Based Integrated Evaluation of the Ecosystem Services of the Three Gorges Reservoir Area (Chongqing Section)[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(1): 168-178.]
- [11] 马骏, 马朋, 李昌晓, 等. 基于土地利用的三峡库区(重庆段)生态系统服务价值时空变化[J]. *林业科学*, 2014, 50(5): 17-26. [MA Jun, MA Peng, LI Chang-xue, *et al.* Temporal and Spatial Variation of Ecosystem Service Value in the Three Gorges Reservoir Region (Chongqing Section) Based on Land Use[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2014, 50(5): 17-26.]
- [12] 姜永华, 江洪, 曾波, 等. 三峡库区(重庆段)土地利用变化对生态系统服务价值的影响分析[J]. *水土保持研究*, 2008, 15(4): 234-237, 243. [JIANG Yong-hua, JIANG Hong, ZENG Bo, *et al.* Effects of Land Use Change on the Ecosystem Services Value of Three Gorges Reservoir Area (the Part of Chongqing)[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2008, 15(4): 234-237, 243.]
- [13] 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. [GUO Hong-lei, ZHOU Qi-gang. Effect of Land Use Change on Ecosystem Services Value Pre and Post the Water Storage in the Three Gorges Reservoir Area[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2016, 23(5): 222-228.]
- [14] 严恩萍, 林辉, 王广兴, 等. 1990—2011年三峡库区生态系统服务价值演变及驱动力[J]. *生态学报*, 2014, 34(20): 5962-5973. [YAN En-ping, LIN Hui, WANG Guang-xing, *et al.* Analysis

- of Evolution and Driving Force of Ecosystem Service Values in the Three Gorges Reservoir Region During 1990–2011[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(20): 5962–5973.]
- [15] FENG Ying-bin, HE Chun-yan, YANG Qing-yuan, *et al.* Evaluation of Ecological Effect in Land Use Planning Using Ecosystem Service Value Method[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(9): 201–211.
- [16] 张宝雷, 张淑敏, 周启刚, 等. 土地利用和生态系统服务功能变化研究: 以三峡库区大宁河流域为例[J]. *长江流域资源与环境*, 2007, 16(2): 181–185. [ZHANG Bao-lei, ZHANG Shu-min, ZHOU Qi-gang, *et al.* Dynamics in Land Use and Ecosystem Service: A Case of Daning River Watershed in Gorges Reservoir Area[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2007, 16(2): 181–185.]
- [17] 刘吉平, 董春月, 盛连喜, 等. 1955—2010年小三江平原沼泽湿地景观格局变化及其对人为干扰的响应[J]. *地理科学*, 2016, 36(6): 879–887. [LIU Ji-ping, DONG Chun-yue, SHENG Lian-xi, *et al.* Landscape Pattern Change of Marsh and Its Response to Human Disturbance in the Small Sanjiang Plain, 1955–2010[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(6): 879–887.]
- [18] 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. [XIE Gao-di, ZHEN Lin, LU Chun-xia, *et al.* Expert Knowledge Based Valuation Method of Ecosystem Services in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2008, 23(5): 911–919.]
- [19] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. *自然资源学报*, 2003, 18(2): 189–196. [XIE Gao-di, LU Chun-xia, LENG Yun-fa, *et al.* Ecological Assets Valuation of the Tibetan Plateau[J]. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(2): 189–196.]
- [20] 谢高地, 肖玉, 甄霖, 等. 我国粮食生产的生态服务价值研究[J]. *中国生态农业学报*, 2005, 13(3): 10–13. [XIE Gao-di, XIAO Yu, ZHEN Lin, *et al.* Study on Ecosystem Services of Food Production in China[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2005, 13(3): 10–13.]
- [21] 彭文甫, 周介铭, 杨存建, 等. 基于土地利用变化的四川省生态系统服务价值研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2014, 23(7): 1011–1020. [PENG Wen-fu, ZHOU Jie-ming, YANG Cun-jian, *et al.* Research on Ecosystem Service Values Based on Land Use Change in Sichuan Province[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2014, 23(7): 1011–1020.]
- [22] 张明阳, 王克林, 刘会玉, 等. 喀斯特生态系统服务价值时空分异及其与环境因子的关系[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(1): 189–197. [ZHANG Ming-yang, WANG Ke-lin, LIU Hui-yu, *et al.* Spatio-Temporal Variation of Karst Ecosystem Service Value and Its Correlation With Ambient Environment Factors[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(1): 189–197.]
- [23] 刘焱序, 任志远, 李春越. 秦岭山区景观格局演变的生态服务价值响应研究: 以商洛市为例[J]. *干旱区资源与环境*, 2013, 27(3): 109–114. [LIU Yan-xu, REN Zhi-yuan, LI Chun-yue. Response of Ecosystem Services Value to the Landscape Patterns Change in Qingling Mountains: A Case of Shangluo City[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2013, 27(3): 109–114.]
- [24] 许吉仁, 董霁红. 南四湖湿地景观格局变化的生态系统服务价值响应[J]. *生态与农村环境学报*, 2013, 29(4): 471–477. [Xu Ji-ren, DONG Ji-hong. Response of Ecosystem in Service Value to Changes in Landscape Pattern of the Nansi Lake Wetland[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2013, 29(4): 471–477.]
- [25] 顾泽贤, 赵筱青, 高翔宇, 等. 澜沧县景观格局变化及其生态系统服务价值评价[J]. *生态科学*, 2016, 35(5): 143–153. [GU Ze-xian, ZHAO You-qing, GAO Xiang-yu, *et al.* Change of Landscape Pattern and It's Evaluation of Ecosystem Services Values in Lancang County[J]. *Ecological Science*, 2016, 35(5): 143–153.]
- [26] 李月辉, 常禹, 胡远满, 等. 人类活动对森林景观影响研究进展[J]. *林业科学*, 2006, 42(9): 119–126. [LI Yue-hui, CHANG Yu, HU Yuan-man, *et al.* Research Advance in Effects Anthropogenic Activity on Forest Landscape[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(5): 119–126.]
- [27] 张瑞. 基于DEM的靖边县土地利用变化分析[D]. 西安: 西安科技大学, 2013. [ZHANG Rui. Study on Land Use Change in Jingbian County Based on DEM[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2013.]
- [28] 谢晓议, 曾咄, 李军. 基于移动窗口法和栅格数据的重庆市人居环境自然适宜性评价[J]. *长江流域资源与环境*, 2014, 23(10): 1351–1359. [XIE Xiao-yi, ZENG Xuan, LI Jun. Evaluation of Nature Suitability for Human Settlement in Chongqing[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2014, 23(10): 1351–1359.]
- [29] 谷建立, 张海涛, 陈家赢, 等. 基于DEM的县域土地利用空间自相关格局分析[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(23): 216–224. [HU Jian-li, ZHANG Hai-tao, CHEN Jia-ying, *et al.* Analysis of Land Use Spatial Autocorrelation Patterns Based on DEM Data[J]. *Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(23): 216–224.]
- [30] 郭晓娜, 苏维词, 李强, 等. 三峡库区(重庆段)地表起伏度及其对生态系统服务价值的影响[J]. *生态与农村环境学报*, 2016, 33(6): 887–894. [GUO Xiao-na, SU Wei-ci, LI Qiang, *et al.* Surface Relief Degree and Its Effects on Ecosystem Service Value in the Chongqing Section of the Three Gorge Reservoir Region, China[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2016, 33(6): 887–894.]

作者简介: 吴娇(1992—), 女, 重庆忠县人, 硕士生, 主要从事资源环境方面的研究。E-mail: 185015764@qq.com

(责任编辑: 许 素)