

# 三峡库区(重庆段)生态系统服务价值变化及其 对人为干扰的响应

吴娇<sup>1,2,3</sup>, 刘春霞<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; 2. 重庆师范大学 重庆市高校 GIS 应用研究重点实验室;  
3. 重庆师范大学 三峡生态环境遥感研究所; 4. 重庆师范大学 职教师资学院, 重庆 401331)

**摘要:** 三峡库区(重庆段)为研究区,以 ArcGIS 软件为平台,结合 2000—2015 年该地区的土地利用/覆盖变化数据,应用 Kriging 插值法分析了(重庆段)生态系统服务价值与人为干扰空间分布特征及两者间的相互关系。结果表明:2000—2015 年三峡库区(重庆段)各项服务功能中,食物生产功能价值逐渐下降,娱乐文化功能价值逐渐增加,其余的各项服务功能价值都是先增加后减少,生态服务价值总量是先增加后减少,2010 年达到最大值;生态系统服务价值低值区集中于各区县建成区,生态系统服务价值高值区主要集中在林地分布区域;三峡库区(重庆段)人为干扰度空间分布格局是由南向北逐渐减弱,由东向西逐渐增强;人为干扰与与粮食生产功能价值呈正相关,与废物处理功能价值不相关,与其余各项功能价值均呈负相关。

**关键词:** 三峡库区(重庆段); 生态系统服务价值; 时空变化; 人为干扰

中图分类号: P967

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2018)01-0334-08

## Ecosystem Service Value Change and Its Response to Human Disturbance in the Three Gorges Reservoir Area (Chongqing Section)

WU Jiao<sup>1,2,3</sup>, LIU Chunxia<sup>1,2,3</sup>, LI Yuechen<sup>2,3,4</sup>

(1. College of Geography Science, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China; 2. Key Laboratory of GIS Application, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China; 3. Institute of Eco-environment Remote Sensing in Three Gorges Reservoir, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China; 4. College of Vocation Education Teachers, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

**Abstract:** Three Gorges Reservoir area (Chongqing section) was selected as the research area. We used GIS and the source of data being the 2000—2015 Landsat TM Remote Sensing Data, and combined Kriging interpolation method to analyze ecological system service value and human disturbance and the relationship between ecological system service value and Human Disturbance. The results showed that: during the 2000—2015, in the area of Three Gorges Reservoir area (Chongqing section), for each service function, the food production function value dropped gradually, the entertainment cultural service value gradually increased, and the rest service function values increased first and then decreased, total value of ecosystem services increased first then decreased from 2000 to 2015, and it was the largest in 2010; in the area of Three Gorges Reservoir area (Chongqing section), total value of ecosystem services increased first then decreased from 2000 to 2015, and it was the largest in 2010; the low value area of ecosystem service value concentrated in the well-built area of the districts and counties, and high value area of ecosystem service value concentrated in the area of forest land; human disturbance degree of spatial distribution pattern gradually decreased from south to north, gradually increased from the east to the west in the area of Three Gorges Reservoir area (Chongqing section); the value of grain production was positively correlated with human disturbance, and uncorrelated with the human disturbance and waste disposal function value, the rest of function values were negative correlated with human disturbance.

收稿日期: 2017-06-12

修回日期: 2017-06-22

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

第一作者: 吴娇(1992—), 女, 重庆忠县人, 硕士研究生, 主要从事资源环境方面研究。E-mail: 185015764@qq.com

通信作者: 刘春霞(1975—), 女, 山东淄博市人, 硕士, 副教授, 主要从事资源环境与生态经济研究。E-mail: liuchunxia\_2004@163.com

**Keywords:** Three Gorges Reservoir Area (Chongqing section); ecological services values; spatiotemporal change; human disturbance

生态系统服务是人类生存和发展的前提和基础<sup>[1-2]</sup>,它通过生态系统的结构、功能和过程向人类直接或间接地提供生命支持产品和服务<sup>[3]</sup>。而生态系统服务价值是对生态系统服务给人类带来的社会产品和服务的经济度量<sup>[4]</sup>。近年来,随着人类活动不断增强,生态系统受到的人为干扰影响也增大<sup>[5-6]</sup>,很多生态系统的服务功能退化,从而导致生态系统服务价值降低<sup>[7-8]</sup>。目前,从不同尺度角度研究生态系统服务价值是当前研究热点<sup>[9-13]</sup>,生态系统服务价值成为了量化生态效益损益的一种有效方式<sup>[14]</sup>。定量研究生态系统服务价值的时空分异规律,探讨生态系统服务价值与人类活动的关系,对生态服务功能的维持,生态系统稳定具有重要意义。

三峡库区(重庆段)长江上游重要的生态功能区<sup>[15]</sup>,它的生态环境一直受国家的高度重视。目前,国内外学者对三峡库区生态系统服务价值动态变化及其影响因素展开了大量研究,马俊等<sup>[16]</sup>研究发现,GDP、人口密度、城镇化率是造成生态系统服务价值降低的重要因素,农林牧渔 GDP 可以增加生态系统服务价值;郭晓娜等<sup>[17]</sup>研究了地形起伏度对生态服务价值的影响,三峡库区(重庆段)地表起伏度从东倒西、从北到南呈降低趋势,生态系统服务价值分布趋势与地表起伏保持一致;姜永华等<sup>[18]</sup>主要从时间尺度上分析了生态系统服务价值的动态变化,结果发现草地、林地减少,建设用地增大可导致生态服务价值减少;国洪磊等<sup>[19]</sup>在库区蓄水前后的土地利用差异的基础上分析了对生态系统服务价值的产生的影响;严恩萍等<sup>[20]</sup>从时间和空间角度分析了生态系统服务价值的动态变化,并对驱动因子进行了探讨;而张宝雷<sup>[21]</sup>、姚琳<sup>[22]</sup>、冯应斌<sup>[23]</sup>、田耀武<sup>[24]</sup>等主要研究了三峡库区局部地区的生态系统服务价值,结果发现这些研究缺乏对生态服务价值及影响因素的空间分析和空间辨识。当前对农、林、城市、湿地等不同生态系统与人为干扰的关系进行了探讨<sup>[25-26]</sup>,而将生态服务价值与人为干扰相结合的研究较少。因此本文以具有重要生态地位的三峡库区(重庆段)为研究区域,拟通过网格分析法,结合 Kriging 插值将生态系统服务价值和人为干扰的时空变化分布规律进行研究,并分析不同时期人为干扰对生态系统服务价值的影响程度,为维持三峡库区(重庆段)生态服务功能价值,合理开展人为活动,增加生态服务价值,改善区域的生态环境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)位于重庆市境内,地理位置是 $28^{\circ}31' - 31^{\circ}44'N$ , $105^{\circ}49' - 110^{\circ}12'E$ ,包括了重庆市 22 个区县(自治县),幅员面积为 4.62 万  $km^2$ 。三峡库区(重庆段)地形地貌复杂,以低山和丘陵为主,平均海拔 453~974 m,属于湿润亚热带季风型气候,多年年均气温 14~18℃,年均降雨量 1 200~1 400 mm。土壤类型有 11 种,主要以紫色土、石灰土、黄壤为主。境内主要河流有长江,嘉陵江、乌江。自然植被类型包括阔叶林、针叶林、灌丛、草地等多个类型。2014 年末,三峡库区(重庆段)总人口 1 880.42 万人,占全市总人口的 60.65%,城镇化率为 66.11%。库区整体产业化水平不高,产业关联度较弱,现代化程度较低。

### 1.2 数据来源与处理

本研究对三峡库区(重庆段)2000—2015 年土地利用覆被变化进行分析,共划分了 4 个时间段,分别为 2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年。这四期数据源于遥感影像的解译结果。为了分类结果的准确性,研究中分别选取 2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年月份相近的遥感影像,经假彩色合成,辐射增强,几何配准等处理后,利用研究区矢量图层提取出研究区域。参照相关土地利用/覆盖分类系统,借助遥感分析软件,在专家知识的辅助下,利用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、未利用地。分别对每期分类结果进行精度检验,每期随其抽取 1 000 个点进行检验,最后精度分别达到 86.3%,91.2%,87.9%,90.4%,精度满足要求。

## 2 研究方法

### 2.1 生态服务功能生态价值的确定

根据 Constanza<sup>[3]</sup>和谢高地<sup>[27]</sup>等的研究成果,以 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年研究区小麦和水稻的平均种植面积为准,参考这四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,在此基础上,结合“中国生态系统服务价值当量表”<sup>[28]</sup>,由于生态系统的时空异质性,根据三峡库区(重庆段)具体情况,结合生物量修订公式<sup>[29]</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。

为了了解研究区域生态服务价值的空间变化情况,借鉴前人的方法研究<sup>[20,26]</sup>,本文应用网格分析法研究生态系统服务价值空间差异,具体操作是,在 ArcGIS 10.1 中创建 1 km×1 km 的网格,利用 ArcGIS 10.1 中的分区

统计工具,计算各个格网面积及其每种土地利用类型的面积,在此基础上计算不同时期各个格网的单位面积的生态系统服务价值,将各个格网的计算结果作为各个格网中心点的值,并采用 Kriging 插值法从而得到三峡库区(重庆段)生态服务价值空间变化图。

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 元/(hm<sup>2</sup>·a)

生态服务分类	耕地	林地	草地	水域	建设用地	其他用地
气体调节	629.84	4408.89	1007.75	0.00		0.00
气候调节	1121.12	3401.15	1133.72	579.45		0.00
水源涵养	755.81	4030.99	1007.75	25672.35	-6678.00	37.79
土壤形成与保护	1839.14	4912.77	2456.38	12.60	-2174.00	25.19
废物处理	2065.88	1650.19	1650.19	22901.65		12.60
生物多样性	894.38	4106.57	113.37	3136.61		428.29
食物生产	1259.68	125.97	377.91	125.97		12.60
原材料	125.97	3275.18	62.98	12.60		0.00
娱乐文化	12.60	2746.11	50.39	5467.03	214.00	12.60
总计	8704.41	28657.80	7860.43	57907.66	-8638.00	529.07

注:建设用地生态系统的单位价值参考了彭文甫的研究<sup>[30]</sup>。

根据下列公式计算三峡库区(重庆段)生态系统服务价值:

$$ESV = \sum_{k=1}^m A_k \cdot C_k \quad (1)$$

$$C_i = \frac{ESV_i}{S} \quad (2)$$

式中:ESV 为生态系统服务总价值; $A_k$  为  $k$  类景观类型的分布面积; $C_k$  为单位面积的生态系统服务价值; $m$  为研究区景观种类;这里定义  $C_i$  为每一个格网单位面积的生态系统服务价值;ESV<sub>*i*</sub> 为一个网格的生态系统服务总价值; $S$  为对应的格网面积。

## 2.2 人为干扰度指数

根据前人对三峡库区人为干扰度的研究成果<sup>[20]</sup>,结合本文对土地利用的分类情况,对研究区 6 种景观类型进行人为干扰度指数赋值(表 2)。

表 2 土地利用类型人为干扰度赋值

干扰度指数	林地	耕地	草地	水域	建设用地	其他用地
	0.12	0.61	0.09	0.12	0.94	0.08

论文中采用人为影响综合指数来描述某个格网中的景观总体受到人类干扰的强度,具体公式为<sup>[31]</sup>:

$$HAI = \sum_{i=1}^N A_{ii} P_i / S \quad (3)$$

式中:HAI 代表人为干扰度指数; $N$  为景观类型的数量,本文为 6; $A_i$  为  $i$  种景观的面积; $P_i$  为第  $i$  种景观所反映的人为影响强度系数; $S$  为表示一个格网的面积。将计算出的各个格网的人为干扰度作为格网中心的值,进行空间插值,从而得到人为干扰的空间分布图。

利用 SPSS 将计算出的各个格网中单位面积生态服务价值与人为干扰度进行相关性分析,并分析人为干扰对生态系统服务价值的影响。

## 3 结果与分析

### 3.1 三峡库区(重庆段)土地利用变化特征

利用 ArcGIS 10.1 和 Excel,统计三峡库区(重庆段)2000—2015 年 4 个时期的不同土地利用类型的面积(表 3)。

表 3 2000—2015 年三峡库区(重庆段)

土地利用类型	土地利用类型面积 km <sup>2</sup>			
	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年
耕地	22299.69	21345.63	18923.15	18415.73
林地	17919.72	18163.31	23177.42	23135.92
草地	4782.28	5071.76	1527.24	1241.26
水域	777.44	926.96	1261.92	1317.31
建设用地	449.94	728.13	1338.23	2113.61
其他用地	9.89	2.31	10.15	14.27

由表 3 可以看出,整体上,2000 年与 2005 年土地利用类型的变化动态趋势较一致、2010 年与 2015 年大体相同;2000—2015 年三峡库区(重庆段)耕地、林地面积所占比重较大;耕地面积逐渐减少,其中 2000 年耕地面积最大,为 22 299.69 km<sup>2</sup>,至 2015 年,耕地面积减少到 18 415.73 km<sup>2</sup>;2000—2010 年林地面积逐渐增加,在 2010 年林地面积达到最大值,2015 年林地略微减少;草地面积先增加后减少,草地面积从 4 782.28 km<sup>2</sup> 减少到 1 241.26 km<sup>2</sup>;水域面积呈逐年增加趋势,从 777.44 km<sup>2</sup> 增加到 1 317.31 km<sup>2</sup>;2000—2010 年期间增加幅度较大,2010—2015 年增加幅度较少;建设用地增加明显,从 2000 年 449.94 km<sup>2</sup> 增加到 2015 年 2 113.61 km<sup>2</sup>,2010—2015 年期间建设用地增加最为明显;其他用地所占比例一直较小,2005 年其他用

地面积减少到最小,仅为 2.31 km<sup>2</sup>,随后逐渐增加,在 2015 年面积增加到了 14.27 km<sup>2</sup>。

三峡库区(重庆段)2000—2015 年土地利用类型空间分布图见图 1。由图 1 可以看出,2000—2015 年土地利用类型空间分布趋势一致,2010 年后变化显著,2010 年与 2015 年空间分布趋势则相同;2000—2015 年三峡库区(重庆段)的土地利用类型变化较明显,其中建设用地、草地、林地、水域变化最为明显。建设用地以各个区县城镇为核心,逐渐向周围扩散,其中主城一带的建设用地增加最为明显;草地减少幅度较大的地区主要集中在万州、云阳一带;2010 年、2015 年林地面积分布较广,主要集中在巫溪、巫山、石柱、武隆等地区;耕地丧失主要集中在主城周围及其研究区中部,丧失的耕地绝大部分转化为林地和建设用地;水域以长江为主,面积逐年增加。

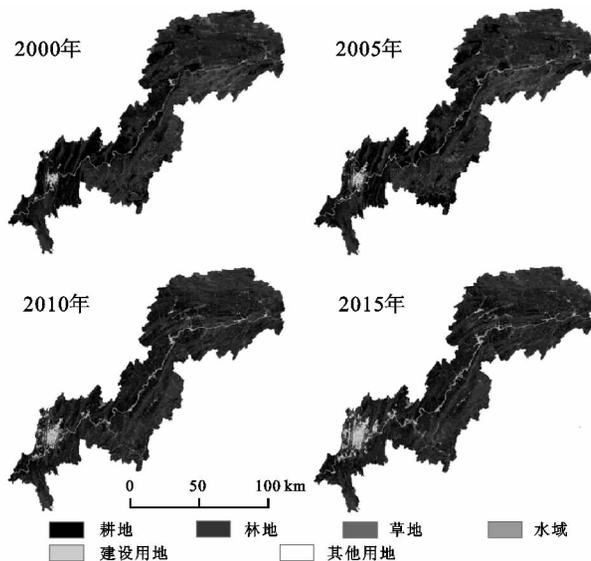


图 1 三峡库区(重庆段)2000—2015 年土地利用类型空间分布

### 3.2 生态系统服务价值动态变化

3.2.1 不同生态系统类型的生态服务价值变化 不同的土地利用类型具有不同的生态服务价值,结合表 1 和公式(1),分别计算三峡库区(重庆段)2000—2015 年不同土地覆盖类型的生态系统服务价值及其所占比例见表 4。

2000—2015 年生态系统服务价值所占比例最大的土地利用类型是林地,其次是耕地、水域、草地、其他用地,而建设用地的生态服务价值为负;林地所提供的生态服务价值远高于其他五种土地利用类型生态服务价值之和;耕地的生态服务价值呈逐渐减少的趋势,2000—2015 年耕地的生态服务价值从 24.684 亿元减少到 17.989 亿元;而林地、水域的生态服务价值逐渐增加,2005 年以前林地、水域的生态服务价值

增加较为缓慢,2005 年后增加较快,在 2015 年林地生态服务价值达到了 663.025 亿元,占总生态服务价值的 74.404%;水域生态服务价值所占比例从 5.725%增加到 8.560%,变化幅度较大;草地的生态服务价值先增加后减少,2000—2005 年草地生态服务价值从 37.591 亿元增加到 39.866 亿元,在 2015 年骤减为 9.757 亿元;建设用地的生态服务价值一直在减少,2000—2015 年建设用地的生态服务价值从 -3.887 亿元下降到 -18.257 亿元;其他用地生态服务价值所占比例最小。

3.2.2 不同服务功能类型的生态服务价值变化 从不同服务功能类型的生态价值构成看(表 5),整体而言,2000—2015 年研究区生态系统服务价值先增加后减少,2000—2010 年增加幅度较大,2010—2015 年生态服务价值呈下降趋势,2010 年生态服务价值达到最大值,为 902.45 亿元;土壤形成与保护所提供的生态价值所占比例最大,但所占比例在逐渐减少,从 2000 年 17.78%降低到 2015 年 16.38%;其次气体调节、气候调节、水源涵养、废物处理和生物多样性功能服务价值对总生态服务价值的贡献较大,2000—2015 年气体调节服务功能价值贡献率从 12.45%增加到 12.89%;气候调节服务功能价值贡献率从 11.68%下降到 11.39%;水源涵养服务功能价值贡献率从 14.10%上升到 14.38%;废物处理服务功能价值贡献率从 12.89%下降到 12.17%;生物多样性功能服务价值贡献率从 12.27%增加到 12.99%;食物生产、原材、娱乐文化服务功能价值对总生态服务价值影响较小,食物生产提供的生态服务价值逐年减少,从 2000 年 32.25 亿元减少到 2015 年 26.75 亿元;原材料、娱乐文化产生的生态价值都是逐年上涨,原材料从 2000 年 61.81 亿元增加到 2015 年 78.19 亿元,娱乐文化从 2000 年大的 54.08 亿元增加到 71.48 亿元。

3.2.3 生态系统服务价值空间变化 利用 ArcGIS 中的分区统计工具,分别计算各个格网中的土地利用类型面积。结合公式(2)分别计算每一个格网中的生态价值总量,考虑到所有格网面积不一致,因此各个格网所求得生态服务价值的总量就有差别,结合公式(2)计算每个格网的单位面积上的生态服务价值(亿元/km<sup>2</sup>),得到研究区的生态服务价值在空间上的变化三峡库区(重庆段)生态价值的空间分布情况,见图 2。可以看出,生态价值的空间变化趋势与土地利用类型空间分布较为一致;2000 年与 2005 年生态价值的空间变化趋势较为一致,2010 年与 2015 年较为相同;2000—2015 年主城地区及各个区县的建成区单位面积的生态系统服务价值最低。

在研究期内,主城一带生态价值低值区范围明显扩大;2000—2005 年生态服务价值高值区分布范围明显小于 2010—2015 年;主城周围、库区中部、长江流域以西地区以耕地、草地为主,库区北部、南部、长江流域以东区域分布着大片林地,出现了以长江流域为分界线,以西

区域的生态服务价值明显低于以东部地区的生态服务价值。1998 年政府广泛推行了退耕还林政策以及后来相继建立的渝东南生态发展保护区、渝东北水源涵养区,由于政策效应具有滞后性,2010 年与 2015 年三峡库区(重庆段)分布着大面积的生态服务价值高值区。

表 4 2000—2015 年三峡库区(重庆段)不同生态系统类型的价值变化

土地利用 类型	2000 年		2005 年		2010 年		2015 年	
	价值量/亿元	百分比/%	价值量/亿元	百分比/%	价值量/亿元	百分比/%	价值量/亿元	百分比/%
耕地	194.106	24.684	185.801	23.413	164.715	18.252	160.298	17.989
林地	513.540	65.305	520.521	65.592	664.214	73.601	663.025	74.404
草地	37.591	4.780	39.866	5.024	12.005	1.330	9.757	1.095
水域	45.020	5.725	53.678	6.764	73.075	8.097	76.282	8.560
建设用地	-3.887	-0.494	-6.290	-0.793	-11.560	-1.281	-18.257	-2.049
其他用地	0.005	0.001	0.001	0.000	0.005	0.001	0.008	0.001
总计	786.375		793.578		902.454		891.112	

表 5 2000—2015 年三峡库区(重庆段)不同服务功能的价值变化

生态服务 价值类型	2000 年		2005 年		2010 年		2015 年	
	价值量/亿元	百分比/%	价值量/亿元	百分比/%	价值量/亿元	百分比/%	价值量/亿元	百分比/%
气体调节	97.87	12.45	98.64	12.43	115.64	12.81	114.85	12.89
气候调节	91.82	11.68	91.99	11.59	102.51	11.36	101.51	11.39
水源涵养	110.86	14.10	113.40	14.29	132.73	14.71	128.13	14.38
土壤形成与保护	139.83	17.78	139.38	17.56	149.53	16.57	146.00	16.38
废物处理	101.34	12.89	103.67	13.06	108.76	12.05	108.44	12.17
生物多样性	96.52	12.27	97.16	12.24	116.24	12.88	115.76	12.99
食物生产	32.25	4.10	31.21	3.93	27.49	3.05	26.75	3.00
原材料	61.81	7.86	62.51	7.88	78.41	8.69	78.19	8.77
娱乐文化	54.08	6.88	55.63	7.01	71.15	7.88	71.48	8.02
总计	786.37	100.00	793.58	100.00	902.45	100.00	891.11	100.00

总体而言,2000—2015 年三峡库区(重庆段)由以耕地为主向以林地为主的结构转变,致使林地面积迅速增加,且林地单位面积生态服务功能较高,分布较为集中,对研究区生态系统服务价值增加起到了关键作用;耕地面积分布较广泛,但耕地单位面积生态服务价值较低,因此低生态系统服务价值与耕地分布趋势一致;建设用地产生负向生态服务价值,1997 年重庆市直辖以后,城镇在原有基础上扩张明显,西部成为了城市发展新区和重点开发区,因此形成了以主城九区为主,各区县城镇建成区为辅的生态服务价值低值区。

### 3.3 人为干扰空间变化

人类活动对生态系统格局有一定的影响,结合表 2 以及公式(3),计算每一个格网中的人为干扰度,利用 Kriging 空间插值方法得到三峡库区(重庆段)人为干扰的空间变化情况。由图 3 可以看出,2000—2015 年人为干扰以低影响强度为主导,中低影响强度有逐渐扩大的趋势;三峡库区(重庆段)人为干扰较强的地区是主城一带、各区县城镇建成区,人为干扰度高影响区域的变化趋势与城镇扩张趋势保持一致;

而人为干扰较弱的地区位于研究区北部和东部,人为干扰由南向北逐渐减弱,由东向西逐渐增强。2000—2015 年高影响区域的范围明显增多,中高影响区域逐渐减少;2000—2005 年云阳、万州、奉节一带的人为干扰以低影响为主,2010 年后逐渐转变为中低影响;在 2005 年武隆南部以中影响为主,在 2010 年后人为干扰程度逐渐减弱。

三峡库区(重庆段)地表起伏度从东倒西、从北到南呈降低趋势<sup>[17]</sup>,地形起伏较大的地区不合适社会发展和人类居住,研究区东部和北部地区地势起伏度大,地形复杂,人口稀疏,交通闭塞,城镇发展水平整体较低,分布着大面积的林地,大部分生态系统保持自然状态,生态系统受到的人为干扰较小。相反,库区西部地形平缓,特别是 1997 年重庆市直辖以后,城镇在原有基础上扩张明显,大量的人口涌入城市,西部成为了城市发展新区和重点开发区,大量耕地、草地向建设用地,大量人工设施取代生态系统自然组分,导致生态系统结构、功能破坏,西部地区人为干扰形成了以主城为高影响,四周以中影响、中高影响的格局。

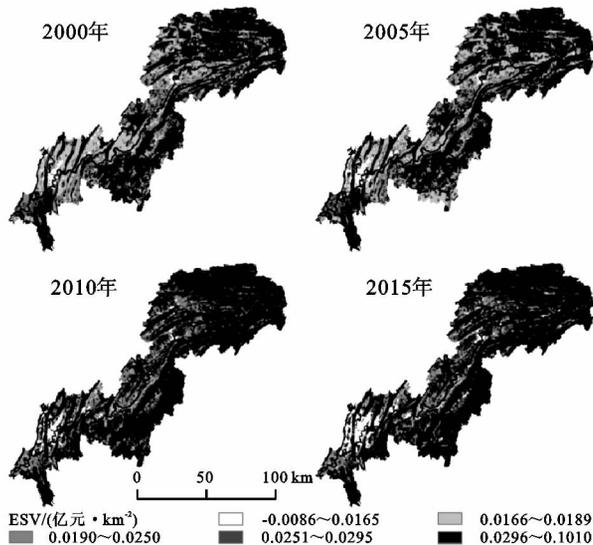


图 2 2000—2015 年三峡库区(重庆段)生态服务价值空间分布

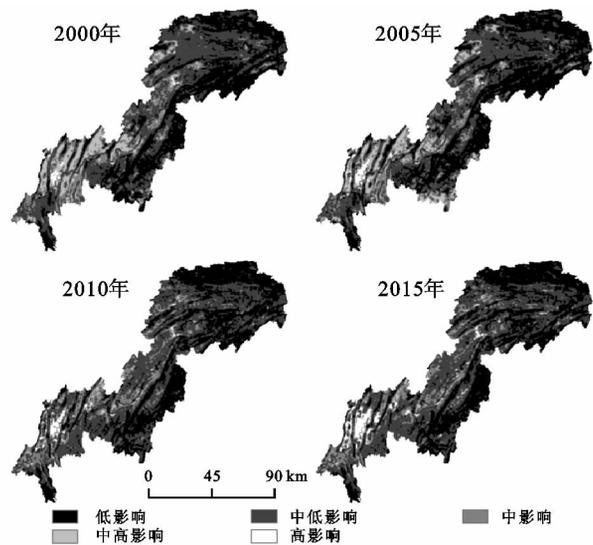


图 3 2000—2015 年三峡库区(重庆段)人为干扰度空间分布

### 3.4 生态系统服务价值与人为干扰度的相关分析

人为干扰度与生态服务价值相关分析表明(表 6),整体而言,人为干扰度与生态系统服务价值呈强烈负相关,且通过了 0.01 水平上的显著性检验。2010 年与 2015 年人为干扰对生态系统服务价值的影响程度高于 2000 年和 2005 年人为干扰对生态系统服务价值的影响。2000—2015 年人为干扰度与气体调节、气候调节、土壤形成与保护、维持生物多样性、原材料生产、娱乐文化不同服务功能类型的生态服务价值呈强烈负相关,人为干扰度越大,这六种不同服务功能所提供的生态服务价值就会减少;人为干扰强度与水源涵养所产生的生态服务价值呈中等程度的负相关,说明人为活动对水源涵养价值有一定的影响,但影响程度较小;人为干扰度与生态系统废物处理所产生的价值不相关;人为干扰对粮食生产所产

生的生态价值呈强烈正相关,但 2000—2015 年人为干扰度对粮食生产的生态价值的影响程度逐渐降低。

人类社会活动是土地利用变化的主要驱动力<sup>[32]</sup>,而土地利用格局变化会引起各自然生态系统面积变化,自然生态系统健康程度直接造成单位面积生态系统提供的服务功能价值的变化<sup>[33]</sup>。由生态服务价值空间变化图(图 2)和人为干扰空间变化图(图 3)可以看出,生态服务价值低值区主要集中在人为干扰较强的区域,而生态系统服务价值高值区的人为干扰强度较弱,验证了人类活动是引起生态系统服务价值变化的重要原因。其中气体调节、气候调节、土壤形成与保护、维持生物多样性、原材料生产、娱乐文化六种服务功能价值与人为干扰呈极显著负相关,这说明在三峡库区(重庆段)人类社会活动所带来的经济发展以及人口的快速增长对生态系统造成极大的负担,追求经济建设很大程度上是以牺牲自然生态环境为代价,特别是城镇化建设直接导致土地利用格局发生明显改变,污染物排放量、废气排放量、污水排放量以及森林遭到肆意砍伐强度都超出自然生态系统的承受阈值,生态系统出现异常,生物多样性降低,生态系统服务功能减弱,相应的生态系统服务价值降低;而粮食生产服务功能价值与人为干扰呈强烈正相关,说明了诸如除草、施肥、灌溉等人为活动会使粮食生产服务功能产生更大的价值。

表 6 人为干扰指数与生态系统服务价值的

Pearson 相关性分析

项目	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年
气体调节	-0.787**	-0.773**	-0.867**	-0.874**
气候调节	-0.761**	-0.753**	-0.866**	-0.883**
水源涵养	-0.461**	-0.455**	-0.490**	-0.516**
土壤形成与保护	-0.798**	-0.795**	-0.855**	-0.873**
废物处理	-0.011*	-0.027**	-0.060**	-0.087**
维持生物多样性	-0.838**	-0.829**	-0.938**	-0.946**
食物生产	0.906**	0.860**	0.797**	0.675**
原材料生产	-0.751**	-0.733**	-0.856**	-0.861**
娱乐文化	-0.660**	-0.640**	-0.708**	-0.693**
总 ESV	-0.744**	-0.738**	-0.846**	-0.861**

注:\* 在 0.05 水平上显著相关,\*\* 在 0.01 水平上显著相关。

## 4 结论与讨论

(1) 2000—2015 年三峡库区(重庆段)各项服务功能中,食物生产功能价值逐渐下降,娱乐文化服务价值逐渐增加,其余的各项服务功能价值都是先增加后减少,2000—2010 年生态服务价值总量从 786.37 亿元增加到 902.45 亿元,在 2015 年又减少到 891.11 亿元。

(2) 生态系统服务价值空间分布情况受土地利

用景观格局的影响,2000—2015 年生态系统服务价值低值区集中于各区县建成区,主城区生态价值最低;生态系统服务价值高值区主要集中在林地分布区域,较低值生态系统服务价值与耕地分布趋势一致。

(3) 2000—2015 年三峡库区(重庆段)人为干扰以低影响强度为主导,中低影响强度有逐渐扩大的趋势,人为干扰度高影响区域的变化趋势与城镇扩张趋势保持一致;人为干扰由南向北逐渐减弱,由东向西逐渐增强。人为干扰对生态系统服务价值具有一定程度的影响,整体上,人为干扰与生态系统服务价值呈强烈负相关,从不同类型生态服务价值上,人为干扰与与粮食生产功能价值呈正相关,与废物处理功能价值不相关,与其余各项功能价值均成负相关。

本文以遥感数据为基础,通过网格分析法,定量分析了三峡库区(重庆段)生态系统服务价值与人为干扰强度时空变化情况,为合理展开人为活动、三峡库区(重庆段)生态环境的建设与保护提供了依据。本文研究发现三峡库区(重庆段)2000—2015 年出现了生态总价值先增加后减少的趋势,这是与实际相符的。1998 年推行的退耕还林工程对林地增加的贡献较大,而随后开展的森林工程、天然林地保护工程、长江生态屏障工程的建设对林地的稳定保护起到了作用;水域增加则是由水库建成及其高水位蓄水造成,因此从 2000—2010 年水域面积增加较为明显,长时间的大江截流与固定的高水位蓄水使水域保持稳定状态,在 2015 年水域面积增加幅度较缓和;但 2010 年以后城市化更为显著,建设面积增加较快;通过与其他论文中三峡库区土地利用变化情况对比验证<sup>[19-20]</sup>,在 2010 年以后水域增加幅度较小,而 2015 年林地所占比例与 2010 年差别较小,而增幅最大的为建设用地,其中耕地、草地、林地等都有向建设用地转化,而林地与水域单位面积生态服务功能价值相对较高。人为干扰高影响区集中在主城一带,1997 年重庆市直辖以后,城镇在原有基础上扩张明显,大量人口的涌入,西部成为了城市发展新区和重点开发区,人类高强度的社会活动带来的影响超出了生态系统能承受的负担,导致这一区域生态功能减弱,生态服务价值降低,验证了人为干扰与生态服务价值呈负相关,研究区北部和东部生态系统保持较好,人口稀少,所受干扰较小,生态服务价值较高。本文的数据来源于遥感影像,因此数据的处理、分析及其转换过程都不可避免会出现一定的误差,这将对生态系统服务价值的计算结果带来不可避免的影响。本文分析了生态服务价值与人为干扰关系相互关系,人为干扰对生态系统服务价值的作用机理,是进一步探究的方向。

#### 参考文献:

- [1] Daily G C. Natures Services: Societal Dependence on nATURAL ECOSYSTEMS[M]. Washington D C: Island Press, 1997.
- [2] 张志强,徐中民,程国栋. 生态系统服务与自然资本价值评估[J]. 生态学报,2001,21(11):1918-1926.
- [3] Costanza R, Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature,1997,386:253-260.
- [4] Santos J E, Nogueira F, Pires J S R, et al. The value of the Ecological Station of Jataí's ecosystem services and natural capital[J]. Revista Brasileira de Biologia, 2001, 61(2):171-183.
- [5] 伍星,沈珍瑶,刘瑞民,等. 土地利用变化对长江上游生态系统服务价值的影响[J]. 农业工程学报,2009,25(8):236-241.
- [6] 吴大千,刘建,贺同利,等. 基于土地利用变化的黄河三角洲生态服务价值损益分析[J]. 农业工程学报,2009,25(8):256-261.
- [7] Pullanikkatil D, Palamuleni L G, Ruhiiga T M. Land use/land cover change and implications for ecosystems services in the Likangala River Catchment, Malawi[J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2016,93:96-103.
- [8] 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.
- [9] Renetzeder C, Schindler S, Peterseil J, et al. Can we measure ecological sustainability Landscape pattern as an indicator for naturalness and land use intensity at regional, national and European level[J]. Ecological Indicators, 2010,10(1):39-48.
- [10] 张振明,刘俊国. 生态系统服务价值研究进展[J]. 环境科学学报,2011,31(9):1835-1842.
- [11] Du Z Q, Shen Y D, Wang J, et al. Land-use change and its ecological responses;a pilot study of typical agro-pastoral region in the Heihe River, northwest China [J]. Environmental Geology, 2009,58(7):1549-1556.
- [12] 刘桂林,张落成,张倩. 长三角地区土地利用时空变化对生态系统服务价值的影响[J]. 生态学报,2014,34(12):3311-3319.
- [13] 涂小松,龙花楼. 2000—2010 年鄱阳湖地区生态系统服务价值空间格局及其动态演化[J]. 资源科学,2015,37(12):2451-2460.
- [14] Brander L, Brouwer R, Wagtenonk A. Economic valuation of regulating services provided by wetlands in agricultural landscapes: A meta-analysis[J]. Ecological Engineering, 2013,56(7):89-96.
- [15] 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.
- [16] 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.

- [17] 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,2016,32(6):887-894.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 张宝雷,张淑敏,周启刚. 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.
- [22] 姚玲,廖和平,邓春燕,等. 基于土地利用变化的三峡库区生态服务价值损益分析:以重庆市巫山县为例[J]. 西南大学学报:自然科学版,2012,34(5):91-96.
- [23] Feng Yingbin, He Chunyan, Yang Qingyuan, 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.
- [24] 田耀武,黄志霖,肖文发,等. 基于 RS 和 GIS 的退耕还林模式对三峡库区黑沟小流域生态服务价值的影响[J]. 水土保持研究,2010,17(3):97-100.
- [25] 李慧颖,李晓燕,贾明明,等. 2013年三江平原北部洪水对沼泽湿地景观的影响[J]. 湿地科学,2015,13(3):344-349.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] 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):1053-1062.
- [31] Chen F, Ge X P, Chen J F. Geostatistical analysis on human impact indexes for land use/cover in Fujian and Taiwan [J]. Tropical Geography, 2008,26(6):518-522.
- [32] 李月臣,刘春霞,熊德芳. 重庆都市区土地利用/覆盖变化驱动机制分析[J]. 重庆师范大学学报:自然科学版,2010,27(1):36-41,46.
- [33] 段瑞娟,郝晋珉,张洁瑕. 北京区位土地利用与生态服务价值变化研究[J]. 农业工程学报,2006,22(9):21-28.

~~~~~

(上接第 333 页)

- [6] Van Steenberg N, Willems P. Rainfall uncertainty in flood forecasting: Belgian case study of Rivierbeek[J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2014,19(19):554-555.
- [7] Lin C A, Wen L, Lu G, et al. Real-time forecast of the 2005 and 2007 summer severe floods in the Huaihe River Basin of China[J]. Journal of Hydrology, 2010,381(1):33-41.
- [8] Diakakis M. Rainfall thresholds for flood triggering: The case of Marathonas in Greece[J]. Natural Hazards, 2011,60(3):789-800.
- [9] 陈红光,李晨洋,李晓丹. 基于风险分析的三江平原灌区多水源联合调度方案优化决策研究[J]. 水土保持研究,2013,20(4):277-280.
- [10] 刘义花,鲁延荣,周强,等. HBV 水文模型在玉树巴塘河流域洪水临界雨量阈值研究中的应用[J]. 水土保持研究,2015(2):224-228.
- [11] 张红英,宋燕,魏建军,等. 长治地区干旱分析和降水预报[J]. 气象科技,2006,34(4):426-431.
- [12] 姬晶,张洪波,刘攀. 泾惠渠灌区干旱预警体系研究[J]. 自然灾害学报,2016,25(1):45-55.
- [13] Rahiz M, New M. Does a rainfall-based drought index simulate hydrological droughts[J]. International Journal of Climatology, 2014,34(9):2853-2871.
- [14] 张星星,朱成立,彭世彰,等. 降水预报准确度分析及其在提高降水利用率中的作用[J]. 河海大学学报:自然科学版,2014(3):230-233.
- [15] 耿献辉,张晓恒,宋玉兰. 农业灌溉用水效率及其影响因素实证分析:基于随机前沿生产函数和新疆棉农调研数据[J]. 自然资源学报,2014,29(6):934-943.
- [16] Hubbard R M, Stape J L, Ryan M G, et al. Effects of irrigation on water use and water use efficiency in two fast growing Eucalyptus plantations[J]. Forest Ecology and Management, 2010,259(9):1714-1721.
- [17] 于波. 安徽天气预报业务基础与实务[M]. 北京:气象出版社,2013:1-3.
- [18] 矫梅燕,姚学祥,周兵. 2003 淮河大水天气分析与研究[M]. 北京:气象出版社,2004:55-93.
- [19] 谢五三,田红. 安徽省近 50 年干旱时空特征分析[J]. 灾害学,2011,26(1):94-98.
- [20] 张冰,魏建苏,王文兰,等. 转折性天气降水预报检验方法及应用[J]. 气象科技,2012,40(3):411-416.