

# 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

国洪磊, 周启刚

(重庆工商大学 旅游与国土资源学院, 重庆 400067)

**摘 要:**随着三峡库区蓄水完成以及城镇化进程的推进,土地利用结构发生了明显变化,其相应的生态系统服务价值也发生了改变。研究以三峡库区 2000 年、2007 年和 2014 年三期的 TM 影像数据为数据源,利用 RS 和 GIS 技术,提取各期土地利用现状图,分析了三峡库区各期土地利用类型的数量、变化状态、转移趋势以及土地利用动态度、土地利用程度的变化特征,研究了三峡库区蓄水完成前后土地利用变化对生态系统服务价值的影响,最后利用敏感性指数模型验证结果的准确性。结果表明:2000—2014 年三峡库区总体上呈现耕地、草地、林地和未利用地面积减少,建设用地、水域面积增加的趋势;建设用地和水域土地利用动态度较大,草地、耕地和林地动态度较小;2000—2014 年三峡库区生态系统服务价值总体上呈现减少的趋势,14 a 间减少了 0.63 亿元;三峡库区所有土地利用类型的敏感性指数均小于 1,生态系统服务价值对生态价值系数缺乏弹性,结果可信。研究结果有助于了解近 14 a 来三峡库区的土地利用变化特征,从而为三峡库区土地利用的结构调整 and 环境保护提供参考。

**关键词:**三峡库区;土地利用;生态系统服务价值;敏感性指数

**中图分类号:**F301.24

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2016)05-0222-07

## Effect of Land Use Change on Ecosystem Service Value Pre and Post the Water Storage in the Three Gorges Reservoir Area

GUO Honglei, ZHOU Qigang

(Tourism and Land Resources School of Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067)

**Abstract:** With the completion of water storage and the progress of urbanization in the Three Gorges Reservoir Area, the land use structure has changed significantly, and the corresponding ecosystem service value has changed. Taking three periods TM images of the Three Gorges Reservoir Area as the data source, this paper uses the RS and GIS technology to extract the land use map of each period, analyze the quantity, change state, transfer tendency of the type of land use and the characteristics of land use degree, study the effect of land use change on ecosystem service value pre and post the water storage in the Three Gorges Reservoir Area. The accuracy of the results is verified by the sensitivity index model in the study. The results indicate that the quantity of cultivated land, grass land, forest land, unused land decreased and construction land, water area increased from 2000 to 2014. At the same time, the land use dynamic degree were different of each land class, construction land and water area dynamic degree were high, while the grass land, cultivated land and forest land dynamic degree were very low. During 2000—2014, the value of ecosystem services in Three Gorges Reservoir Area shows a trend of decreasing, the ecosystem service value have increased 0.63 billion yuan. All of the land use sensitivity index are less than 1. The value of ecosystem services in the study area lack of flexibility on the ecological value coefficient. The results are credible. Research results are helpful to understand the characteristics of land use changes in recent 13 years, and the results could provide reference value for the adjustment of land use structure and environmental protection in the Three Gorges Reservoir area.

收稿日期:2016-01-15

修回日期:2016-02-03

资助项目:国家自然科学基金(41101503);国家社科基金重大项目(11&·ZD161);重庆工商大学融智学院科研项目(20157002)

第一作者:国洪磊(1991—),男,山东菏泽人,硕士研究生,主要研究方向:土地资源管理。E-mail:ghl124@126.com

通信作者:周启刚(1976—),男,重庆铜梁人,教授,博士,硕士生导师,主要从事 3S 理论与应用以及土地利用与规划研究。E-mail:zqg1050@126.com

**Keywords:** Three Gorges Reservoir area; land use; ecosystem service value; sensitivity index

生态系统服务是指人类以间接或直接的方式通过生态系统的结构、过程和功能从生态系统得到生态支持的产品和服务以获取利益<sup>[1]</sup>。土地利用/覆被变化(LUCC)与人类生产活动有密切的联系,也是全球气候变化的重要组成部分和主要变化原因<sup>[2]</sup>。土地利用对于某一区域的生态环境有着至关重要的作用,近几十年的土地利用活动已经改变了几乎所有的地球景观,并产生了诸多生态和环境问题<sup>[3]</sup>,因此生态系统服务价值也发生了相应的变化,土地利用变化与生态系统服务价值的关系也成为了热点研究问题之一。随着人口增长、经济发展、城市化进程的加快以及生态环境问题的加剧,使得区域发展对土地需求不断扩大,国内外对于土地利用变化与生态环境之间的关系也以气候、水温、土壤等单一要素的研究转向整个生态系统<sup>[4-6]</sup>。1970年联合国大学首次提出了生态系统服务功能的概念<sup>[7]</sup>;20世纪90年代Costanza估计了各种生态系统的各项生态系统服务价值<sup>[8]</sup>;2003年谢高地等<sup>[9]</sup>对于Costanza提出的生态系统服务价值估算的不足进行了修正;近年来国内多数学者对于重庆<sup>[10]</sup>、湖南<sup>[11]</sup>、长三角<sup>[12]</sup>等地区进行了生态系统服务价值的研究。目前关于三峡库区的研究多集中于土地利用单方面或者三峡库区重庆段土地利用变化与生态系统服务价值关系的响应特征<sup>[13-14]</sup>,对于整个三峡库区土地利用变化与生态系统服务研究较少。

三峡库区拥有独特的生态系统,是我国重要的生态宝库,当前和今后相当长的时期内三峡库区的生态环境在经济发展中始终占据着重要地位。近年来,随着重庆市的直辖和三峡库区蓄水完成,库区的经济发展伴随着生态移民、城市发展、基础设施建设等,使得土地资源发生了很大变化,从而与之密切相关的生态系统服务价值也发生了变化。研究将RS和GIS技术相结合,以Landsat TM影像为数据源建立三峡库区2000—2014年土地利用数据库,进而估算库区生态系统服务总价值,并验证结果的准确性,探讨三峡库区蓄水完成前后土地利用的变化与生态系统服务价值之间的关系,以期库区土地资源的合理优化配置及生态环境的保护提供参考依据。

## 1 研究区概况

三峡库区位于北纬29°—31°50′,东经106°20′—110°30′,总面积约5.7万km<sup>2</sup>,位于四川盆地和长江中下游平原的结合部,北面和南部分别为大巴山和川

鄂高原,地形复杂,多山谷。三峡库区包含了重庆主城区(渝中区、江北区、北碚区、渝北区、巴南区、南岸区、沙坪坝区、九龙坡区和大渡口区)以及巫山县、巫溪县、奉节县、云阳县、开县、忠县、丰都县、武隆县、石柱县、万州区、涪陵区、长寿区、江津区和湖北省境内的宜昌县、兴山县、秭归县、巴东县;三峡库区地处我国亚热带湿润气候区,夏季高温多雨,冬季温和湿润,水热资源具有优势,垂直气候带明显。三峡库区蓄水完成历经三个阶段:2003年6月为第一阶段,水位达到135 m;2006年9月为第二阶段,蓄水位上升至156 m;2009年9月为第三阶段蓄水完成,蓄水位为175 m。随着三峡库区的蓄水完成以及库区内区县的经济的发展,三峡库区的土地利用结构和生态环境受到了较大影响,对其进行研究能够了解到三峡库区生态系统服务价值的变化情况,从而为三峡库区的土地利用结构优化配置提供参考依据。本研究参照《土地利用现状分类》(GB/T21010—2007),结合三峡库区实际情况,将其划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地6类。

## 2 数据来源与数据处理

### 2.1 数据来源

本研究以三峡库区2000年、2007年和2014年Landsat TM遥感影像为数据源,轨道号分别为125038, 125039, 126038, 126039, 126040, 127038, 127039, 127040, 128039, 128040。所有影像数据采用ALBERS投影,中央经线采用东经110°,双标准纬线分别为北纬25°和47°,其中TM影像数据1,2,3,4,5,7波段的空间分辨率均为30 m,第6波段分辨率为120 m,影像时段均为当年8—10月。

### 2.2 数据处理

首先对遥感影像数据进行预处理,预处理方法主要包括对影像图进行辐射校正、几何校正和镶嵌处理。运用Erdas 9.1软件对三峡库区2000年、2007年和2014年的Landsat TM遥感影像进行4,3,2波段组合,采用人机交互的解译方法获取研究区2000年、2007年、2014年三期Landsat TM遥感影像的土地利用数据。为了保证判读结果的精度要求,采取边解译边检验的原则,组织经验丰富的高级技术工程师和专家教授随机检验判读精度,同时借助土地利用现状图、地形图及野外验证结果保证遥感影像解译的准确性。部分数据指标借助统计年鉴等相关资料经统计分析后所得。

### 3 研究方法

#### 3.1 土地利用动态度

土地利用动态度是用来分析研究土地利用的变化模式,表达了某一区域一定时间段内各类土地利用类型的数量变化和变化速度情况。土地利用动态度对比较土地利用变化的区域差异和预测未来土地利用变化趋势具有积极的作用<sup>[15]</sup>。应用土地利用动态度指数可以真实表现研究区各土地利用类型的变化剧烈程度,其计算公式为:

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

(1)

式中: $K$  表示研究时段内某一土地利用类型动态度; $U_a$ 、 $U_b$  表示研究期初及研究期末某一种土地利用类型的数量; $T$  表示研究时段长度,当  $T$  的时段设定为年时, $K$  的值就是该研究区某土地利用类型年变化率<sup>[16]</sup>。

#### 3.2 土地利用程度

土地利用程度主要反映土地利用的广度和深

度<sup>[17]</sup>,是一个区域土地利用程度的指标,表现为人类对土地系统的影响程度,以此来研究和预测土地利用的未来发展方向。土地利用程度指数越高,表示土地类型受到的人为干扰程度越大,从而向人为干扰程度较高的建设用地类型发展。根据刘纪远先生等提出的土地利用程度的综合分析方法<sup>[18]</sup>,将土地利用程度按照土地自然综合体在社会因素影响下的自然平衡状态分为若干级,并赋予分级指数,从而给出土地利用程度综合指数及土地利用程度变化模型的定量化表达式<sup>[19]</sup>,土地利用程度指数公式为:

$$L=\sum_{i=1}^n(A_i\times C_i)$$

(2)

式中: $L$  表示研究区域土地利用程度指数; $A_i$  表示研究区域内第  $i$  级的土地利用程度分级指数; $C_i$  表示研究区域内土地利用程度分级面积百分比; $n$  表示土地利用程度的分级数。

本研究将三峡库区划分为 4 个等级:未利用地为 1 等,林地、草地和水域为 2 等,耕地为 3 等,建设用地为 4 等(表 1),

表 1 土地利用程度分级赋值

类型分级	未利用土地级	林、草、水用地级	农业用地级	城市聚落用地级
土地利用类型	未利用地或难利用地	林地、草地、水域	耕地、园地、人工草地	城镇、居民点、工矿用地、交通用地
分级指数	1	2	3	4

#### 3.3 土地利用转移模型

对三峡库区 2000 年和 2014 年两期的土地利用进行转移矩阵运算,以得到不同时期不同用地类型之间的转移变化关系,了解研究区域初期各土地利用类型的土地流向及研究末期各土地利用类型的来源构成,从而对土地利用的数量变化、转移情况分析,其计算公式如下<sup>[20]</sup>:

$$C_{ij}=10A_{ij}^k+A_{ij}^{k+1}$$

(3)

式中: $C_{ij}$  为不同时期土地利用变化图; $A_{ij}^k$  为  $k$  时期土地利用类型图; $A_{ij}^{k+1}$  为  $k+1$  时期土地利用类型图; $i$ 、 $j$  为不同土地利用类型。

#### 3.4 生态系统服务价值估算

本研究通过谢高地等<sup>[9]</sup>提出的我国生态系统服务的价值系数来计算三峡库区生态系统服务价值。本研究结合三峡库区实际情况,对生态系统服务价值当量因子表进行部分修正:耕地对应农田、林地对应森林、草地对应草地,因三峡库区多河流水面,水域用地与水体对应,建设用地赋值为 0,未利用地与荒漠对应,从而获得三峡库区生态系统单位面积生态服务价值当量表(表 2)。以三峡库区 2000 年、2007 年、2014 年三年的粮食平均产量(4 577 kg/hm<sup>2</sup>)以及平均价格(1.65 元/kg)为研究区基准单产和价格基准,得出三峡库区的生

态系统服务价值当量因子为 1 078.86 元/hm<sup>2</sup>,进而利用所列公式(式 4)计算出三峡库区不同土地利用类型单位面积生态系统服务价值系数(表 3)。

$$ESV=\sum(A_k\times VC_k)$$

(4)

式中:ESV 为生态系统服务价值; $A_k$  为土地利用类型  $k$  的面积; $VC_k$  为生态系统价值系数。

表 2 三峡库区生态系统单位面积生态服务价值当量表

项目	耕地	林地	草地	水域	未利用地
气体调节	0.50	3.50	0.80	0.00	0.00
气候调节	0.89	2.70	0.90	0.46	0.00
水源涵养	0.6	3.20	0.80	20.38	0.03
土壤形成与保护	1.46	3.90	1.95	0.01	0.02
废物处理	1.64	1.31	1.31	18.18	0.01
生物多样性保护	0.71	3.26	0.09	2.49	0.34
食物生产	1.00	0.10	0.30	0.10	0.01
原材料	0.10	2.60	0.05	0.01	0.00
娱乐文化	0.01	1.28	0.04	4.34	0.01

#### 3.5 敏感性分析

研究区域利用经济学原理弹性系数中的敏感性指数(CS)来核实生态系统服务价值(ESV)随着时间变化对生态系统价值系数(VC)的依赖程度,以此验证选取价值系数的准确性。当  $CS>1$  时,表示 ESV 对 VC 是敏感富有弹性的,即 1%的自变量变动将引

起应变量大于 1% 的变动,则结果准确度差和可信度较低;如果  $CS < 1$ , 则说明 ESV 对 VC 是不敏感缺乏弹性的,其结果可信。公式如下<sup>[21]</sup>:

$$CS = \left| \frac{(ESV_j - ESV_i) / ESV_i}{(VC_{jk} - VC_{ik}) / VC_{ik}} \right| \quad (5)$$

式中:CS 为敏感性指数;ESV<sub>*i*</sub> 为初始生态系统服务总价值;ESV<sub>*j*</sub> 为调整后生态系统服务总价值;VC<sub>*ik*</sub> 为第 *k* 种土地利用类型的初始生态系统价值系数;VC<sub>*jk*</sub> 为第 *k* 种土地利用类型调整后生态系统价值系数。

## 4 结果与分析

### 4.1 土地利用变化分析

利用软件 ArcGIS 10.1 对三峡库区 2000—2014

表 4 2000—2014 年三峡库区各土地利用类型面积统计

年份	项目	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
2000	面积/hm <sup>2</sup>	2184097	3147142	140892	132305	127361	1730
	比例/%	38.09	54.89	2.46	2.31	2.22	0.03
2007	面积/hm <sup>2</sup>	2169971	3140835	140573	143263	137228	1657
	比例/%	37.85	54.78	2.45	2.5	2.39	0.03
2014	面积/hm <sup>2</sup>	2134044	3120616	139606	151344	186198	1719
	比例/%	37.22	54.43	2.43	2.63	3.24	0.03

由表 4 可知,三峡库区 2000—2014 年各土地利用类型面积的分布状况。其中,林地和耕地分布最为广泛,林地主要分布在三峡库区的下游地段,耕地主要分布在三峡库区的中上游地段。三峡库区总体上呈现耕地、林地、草地和未利用地面积减少,水域和城镇建设用地面积增加的趋势,具体表现为:建设用地面积增幅最大,面积从 127 361 hm<sup>2</sup> 增加到 186 199 hm<sup>2</sup>,增加了 58 838 hm<sup>2</sup>,主要是重庆市直辖所带来的机遇以及经济的快速发展,导致城镇建设用地需求不断增加;耕地和林地面积一直处于下降状态,分别减少 50 053 hm<sup>2</sup>,26 526 hm<sup>2</sup>;受三峡库区蓄水的影响,水域用地面积逐年增加,从 132 305 hm<sup>2</sup> 增加到 151 344 hm<sup>2</sup>;由于草地和未利用地在三峡库区所占面积比例本身比较小,因此草地和未利用地面积变化数量很小,草地也略有减少,而未利用地面积有所增加。2000—2014 年,未利用地面积仅占三峡库区总面积的 0.03%,表明三峡库区的土地开发利用程度较高,然而后备土地资源不足。

### 4.2 土地利用动态分析

研究区域利用 2000—2014 年三峡库区土地利用现状矢量数据,统计出各土地利用类型的年变化量,同时根据土地利用动态度方法计算出各土地利用单一动态度指数。由表 5 可知,2000—2014 年年变化量最多的是建设用地,年均增加 4 202.72 hm<sup>2</sup>,其次是耕地和林地,

年土地利用数据进行统计分析,计算各地类面积和比例,如表 4 所示。

表 3 三峡库区不同土地利用类型单位面积生态系统

项目	服务价值系数		元/hm <sup>2</sup>		
	耕地	林地	草地	水域	未利用地
气体调节	539.43	3776.01	863.09	0.00	0.00
气候调节	960.19	2912.92	970.97	496.28	0.00
水源涵养	647.32	3452.35	863.09	21987.17	32.37
土壤形成与保护	1575.14	4207.55	2103.78	10.79	21.58
废物处理	1769.33	1413.31	1413.31	19613.67	10.79
生物多样性保护	765.99	3517.08	97.10	2686.36	366.81
食物生产	1078.86	107.89	323.66	107.89	10.79
原材料	107.89	2805.04	53.94	10.79	0.00
娱乐文化	10.79	1380.94	43.15	4682.25	10.79
总计	7444.13	23573.09	6732.09	49595.19	453.12

年均减少分别为 3 575.21,1 894.74 hm<sup>2</sup>;年变化量最小的是未利用地,年均减少 0.77 hm<sup>2</sup>。三峡库区蓄水完成前(2000—2007 年),耕地和林地减少面积较小,仅为 2 018,901 hm<sup>2</sup>,随着三峡库区蓄水完成之后(2007—2014 年)以及城镇化的快速推进,耕地和林地面积迅速减少,分别达到 5 132.43,2 888.48 hm<sup>2</sup>。土地利用动态度方面,2000—2014 年三峡库区建设用地和水域增速最快,达到 0.033 0,0.010 3;耕地、林地、草地和未利用地动态度指数均为负数,表明各地类均在减少,其中耕地动态度值为-0.001 6,减少速度最快。

### 4.3 土地利用程度分析

根据土地利用程度指数模型得到三峡库区各土地利用类型的土地利用程度指数。由表 6 可知 2000—2014 年三峡库区土地利用程度呈现增加的趋势,由 2000 年的 242.5% 上升到 243.63%,说明三峡库区土地利用处于发展上升期。土地利用程度的水平主要由耕地和林地决定,其土地利用程度指数均在 100% 以上,尤以耕地最高;耕地和林地土地利用动态度指数总体呈下降趋势,然而建设用地利用程度指数增加明显,由 8.88% 增加到 12.96%,因此三峡库区土地利用综合程度也上升;三峡库区蓄水之前利用程度最低仅为 4.62%,随着库区的逐次蓄水,其土地利用程度指数在 2014 年也达到最高值为 5.26%;草地和未利用地的土地利用程度变化并不明显。

表 5 三峡库区 2000—2014 年各类型土地利用动态度

土地利用 类型	年变化量/hm <sup>2</sup>			土地利用动态度		
	2000—2007 年	2007—2014 年	2000—2014 年	2000—2007 年	2007—2014 年	2000—2014 年
耕地	—2018	—5132.43	—3575.21	—0.0009	—0.0024	—0.0016
林地	—901	—2888.48	—1894.74	—0.0003	—0.0009	—0.0006
草地	—45.57	—138.24	—91.88	—0.0003	—0.0010	—0.0007
水域	1565.45	1154.34	1359.90	0.0118	0.0081	0.0103
建设用地	1049.58	6995.86	4202.72	0.0111	0.0510	0.0330
未利用地	—10.49	8.95	—0.77	—0.0061	0.0054	—0.0004

表 6 三峡库区 2000—2014 年各类土地利用程度综合指数 %

年份	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	土地利用综合程度
2000	114.27	109.78	4.92	4.62	8.88	0.03	242.5
2007	113.54	109.56	4.90	5.00	9.57	0.03	242.6
2014	111.66	108.86	4.86	5.26	12.96	0.03	243.63

4.4 土地利用转移分析

通过 ArcGIS 10.1 对三峡库区 2000 年和 2014 年两期土地利用图进行叠置分析从而获得土地利用转移矩阵,见表 7。从三峡库区不同土地利用类型的转移情况来看,主要表现为建设用地的增加和耕地、林地的减少。城镇建设用地面积的增加主要来源于耕地和林地,其中耕地面积为 41 192 hm<sup>2</sup>,林地面积为 17 916 hm<sup>2</sup>;2009 年 9 月三峡库区蓄水完成,蓄水位达到 175 m,同时伴随着城市化水平提高,大量耕

地被占用,使得耕地转向水域和建设用地的面积分别达到 10 632 hm<sup>2</sup>,41 192 hm<sup>2</sup>,同期向耕地转入的多为林地和草地,转化面积分别为 3 842 hm<sup>2</sup>,635 hm<sup>2</sup>;草地的变化主要表现为向林地和水域的转出,转出面积分别为 1 057 hm<sup>2</sup>,850 hm<sup>2</sup>,而林地和耕地的转入面积分别为 988 hm<sup>2</sup>,630 hm<sup>2</sup>;而未利用地在转出和转入方面均较小。由此可知,2000—2014 年,三峡库区耕地和林地是最易受人类干扰的土地类型,多数耕地和林地向城镇建设用地转变。

表 7 2000—2014 年三峡库区土地利用转移矩阵 hm<sup>2</sup>

土地利用类型		2014 年						
		耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	总计
2000 年	耕地	2129117	2496	630	10632	41192	29	2184097
	林地	3842	3116786	988	7532	17916	78	3147142
	草地	635	1057	137918	850	370	60	140891
	水域	321	181	54	131443	290	18	132305
	建设用地	7	36	5	883	126407	23	127361
	未利用地	122	61	12	3	24	1510	1730
	总计	2134044	3120616	139606	151344	186199	1719	5733527

4.5 生态系统服务价值计算分析

由表 8 可知,14 a 来,三峡库区的生态系统服务总价值总体上呈现减少趋势,从 2000 年的 979.58 亿元下降到 978.95 亿元,减少了 0.06%,总体变化较小。其中 2000—2007 年三峡库区生态系统服务价值从 979.58 亿元增加到 982.45 亿元,主要原因是由于 2000—2007 年,耕地、林地面积减少速度较慢,同期三峡库区蓄水使得水位上涨,水域面积增大,且水域用地的生态系统服务价值系数最高,因此生态系统服务总价值增加;2007—2014 年三峡库区生态系统服务价值又减少到 978.95 亿元,是由于这一时间段内建设用地增加较快,且多为耕地和林地向建设用地转化,而库区蓄水完成,水位处在较为平稳的状态,使得库区内的生态系统服务总价值又有所下降。

表 8 三峡库区 2000—2014 年生态系统服务价值 亿元

年份	耕地	林地	草地	水域	未利用地	合计
2000	162.59	741.88	9.48	65.62	0.0078	979.58
2007	161.54	740.39	9.46	71.05	0.0075	982.45
2014	158.86	735.63	9.40	75.06	0.0078	978.95

土地利用结构的变化对生态系统服务总价值的影响较大。研究期间三峡库区耕地、林地和草地的生态系统服务价值都呈下降趋势,由于林地生态系统价值系数仅次于水域,且林地面积减少了 26 526 hm<sup>2</sup>,林地损失价值最多,减少了 6.25 亿元;耕地损失价值由 162.59 亿元减少到 158.86 亿元,减少约 2.29%;草地减少 0.08 亿元;由于水域的生态系统价值系数最大,水域面积的增加使得水域生态系统服务价值增加了 9.44 亿元,增加约 14.39%;未利用的生态系统服务总值没有发生变化。

在 ArcGIS 10.1 中利用 feature to raster 功能, 将三峡库区土地利用三期矢量数据转换为栅格, 基于  $1\text{ km} \times 1\text{ km}$  网格分析三峡库区三个时段生态系统服务价值的空间分布差异, 并根据刘桂林等<sup>[12]</sup> 对各土地利用类型生态系统服务价值进行重新分类: 极低 ( $<0.1\text{ 万/hm}^2$ )、低 ( $0.1\sim1\text{ 万元/hm}^2$ )、中 ( $1\sim3\text{ 万元/hm}^2$ )、高 ( $>3\text{ 万元/hm}^2$ )。2000—2014 年, 三峡库区生态系统服务价值极低区域主要分布在三峡库区各区县建成区, 其中随着城市化进程的加速, 重庆主城区分布最为密集显著, 且呈现出向四周扩展的趋势; 低生态系统服务价值分布与耕地、草地相吻合; 由于林地本身基数较大, 所占比例较高, 2000—2014 年林地所代表的中生态系统服务价值区域在空间变化上表现不明显; 生态系统服务价值高的区域与水域流向分布一致, 且向两岸扩大。2000—2014 年, 较低生态系统服务价值和高生态系统服务价值增加明显, 生态系统服务价值低区域和中区域在空间分布上基本保持不变, 变化趋势不明显。

表 9 三峡库区 2000—2014 年生态系统服务价值敏感性指数

价值系数 VC	生态系统服务价值/亿元			敏感性指数(CS)		
	2000 年	2007 年	2014 年	2000 年	2007 年	2014 年
耕地 VC+50%	243.88	242.30	238.29	0.1660	0.1644	0.1623
耕地 VC-50%	81.29	80.77	79.43			
林地 VC+50%	1112.82	1110.59	1103.44			
林地 VC-50%	370.94	370.20	367.81	0.7573	0.7536	0.7514
草地 VC+50%	14.23	14.19	14.09			
草地 VC-50%	4.74	4.73	4.70			
水域 VC+50%	98.43	106.58	112.59	0.0097	0.0096	0.0096
水域 VC-50%	32.81	35.53	37.53			
未利用地 VC+50%	0.0118	0.0113	0.0117			
未利用地 VC-50%	0.0039	0.0038	0.0039	0.000008	0.000008	0.000007

从时间序列上来看, 2000—2014 年三峡库区林地和耕地的敏感性指数有所降低, 主要是由于林地和耕地面积减少, 表明生态系统服务总价值受耕地和林地单位面积生态价值系数的影响在减少, 但由于耕地和林地本身基数比较大的原因, 相对应的敏感性指数仍然较高; 随着水域面积的增加, 三峡库区水域敏感性指数同期从 0.067 0 上升到 0.076 7, 表明水域的生态系统价值系数对三峡库区生态系统服务总价值的增加有所上升; 草地和未利用地变化较小, 即草地和未利用地生态价值系数对生态系统价值影响较小。

5 结论

(1) 随着三峡库区经济的发展和城镇化的快速推进, 2000—2014 年大量耕地、林地被占用且向建设

4.6 敏感性分析

利用前文所述的敏感度指数模型, 将耕地、林地、草地、水域和未利用地的生态价值系数分别上下调整 50%, 分别得到调整后研究区 2000 年、2007 年、2014 年的生态系统服务总价值, 根据公式(5)得到不同年份之间的敏感性指数。

由表 9 可知, 2000 年、2007 年、2014 年三峡库区所有土地利用类型的敏感性指数均小于 1, 敏感性指数由高到低排序为林地>耕地>水域>草地>未利用地。由于三峡库区林地面积所占比重最大, 且林地单位面积生态系统服务价值较高, 因此敏感度最高的是林地为 0.757 3, 即当林地的生态价值系数增加 1%时, 三峡库区生态系统服务总价值将增加 0.757 3%; 敏感度最小的是未利用地, 仅为 0.000 007, 表明未利用地对三峡库区的生态系统服务总价值影响较小。因此研究所选取的生态系统价值系数对三峡库区生态系统服务价值影响不大, 生态系统服务价值对价值系数缺乏弹性, 研究结果具有可靠性。

用地转化, 致使建设用地面积增幅较大, 使得生态系统服务总价值减少了 0.63 亿元; 而三峡库区在历经三个阶段的蓄水完成后, 水域面积增加并且趋于平稳, 弥补了耕地和林地面积减少所带来的生态系统服务价值的损失; 草地和未利用地面积虽有所下降但变化并不明显。林地和耕地的生态系统服务价值有所下降, 但在三峡库区整个生态系统服务总价值中仍然占据着主导地位, 尤以林地最高。

(2) 空间分布上生态系统服务价值较低区域和高区域呈现扩展趋势, 较低区域主要集中在三峡库区重庆主城建成区和其他区县建成区域, 高区域的增加则与三峡库区的蓄水使得水域面积扩大有关; 生态系统服务价值较低的区域主要分布在三峡库区的中上游段, 而生态系统服务价值中值区域则主要分布在三

峡库区的下游段和重庆都市区的 4 条平行山脉(缙云山、中梁山、铜锣山和明月山)。

(3) 通过对各土地利用类型的敏感度分析得出敏感性指数均小于 1, 其中林地值最高, 未利用地最小, 水域敏感性指数升高, 与三峡库区土地利用结构转化以及生态系统服务总价值的变化相契合, 研究所选生态价值系数较为合理, 结果可信。

虽然 14 a 间三峡库区生态系统服务价值仅减少了 0.63 亿元, 土地利用结构调整总体表现较为合理, 但仍然反映了单项生态系统服务价值的减弱, 这与林地和耕地面积的减少有关。在经济发展和城镇化快速推进的进程下, 三峡库区应加强对林地和耕地的保护, 合理控制建设用地的扩张, 确保生态系统服务价值的可持续状态。

#### 参考文献:

- [1] 胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等. 城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的响应[J]. 生态学报, 2013, 33(8): 2565-2576.
- [2] Turner B L, Skole D L, Sanderson S, et al. Land-use and land-cover change. Science/Research Plan [R]. Sweden: Global Change Report, 1995.
- [3] 窦玥, 戴尔阜, 吴绍洪. 区域土地利用变化对生态系统脆弱性影响评估: 以广州市花都区为例[J]. 地理研究, 2012, 31(2): 311-322.
- [4] 苏维词. 贵阳城市土地利用变化及其环境效应[J]. 地理科学, 2000, 20(5): 462-468.
- [5] 李晓文, 方精云, 朴世龙. 近 10 a 来长江下游土地利用变化及其生态环境效应[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 659-667.
- [6] 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.
- [7] SCEP (Study of Critical Environmental Problems). Man's Impact on the Global Environment: Assessment and Recommendations for Action [R]. Cambridge, MA: MIT Press, 1970.
- [8] Costanza R, Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem service and natural capital [J]. Nature, 1997, 386: 253-260.
- [9] 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.
- [10] 汪小平, 周宝同, 王小玉, 等. 重庆市土地利用变化及其生态系统服务价值响应[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2009, 34(5): 225-229.
- [11] 刘永强, 廖柳文, 龙花楼, 等. 土地利用转型的生态系统服务价值效应分析: 以湖南省为例[J]. 地理研究, 2015, 34(4): 691-700.
- [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] 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): 234-243.
- [14] 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.
- [15] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展, 1999, 18(1): 81-87.
- [16] 陈述彭, 童庆禧, 郭华东. 遥感信息机理研究[M]. 北京: 科技技术出版社, 1998.
- [17] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展, 1999, 18(1): 81-87.
- [18] 樊玉山, 刘纪远. 西藏自治区土地利用[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [19] 方大庄, 刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研究[J]. 自然资源学报, 1997, 12(2): 105-111.
- [20] 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.
- [21] 曼昆. 经济学原理[M]. 3 版. 北京: 机械工业出版社, 2003.