

# 基于土地利用的三峡库区近 30 年生态系统服务价值时空变化特征

李 辉<sup>1,2</sup>, 张晓媛<sup>1,2</sup>, 国洪磊<sup>3</sup>

(1.生态环境空间信息数据挖掘与大数据集成重庆市重点实验室, 重庆 401320;

2.重庆财经学院, 重庆 401320; 3.南京师范大学 虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 210023)

**摘 要:**为了分析和探究三峡库区生态系统服务价值的时空变化特征,以 Landsat TM/Landsat 8 OLI 遥感影像为基础数据,运用 RS 和 GIS 技术提取了研究区 1986 年、1995 年、2000 年、2007 年、2010 年和 2018 年的土地利用数据,并运用土地利用动态指数模型和土地利用程度指数模型对其土地利用类型的变化趋势进行了分析。另一方面,核算了研究区相应年份的生态系统服务价值,并分析了其时空演变特征,同时对土地利用程度与 ESV 的相关关系进行了分析。结果表明:(1) 1986—2018 年,三峡库区耕地、林地和草地面积呈现减少的趋势;水域、建设用地和未利用地面积呈现增加的趋势;(2) 不同土地利用类型的变化速度具有差异性,其中,建设用地和水域变化较快,耕地、林地、草地和未利用地变化较慢;(3) 1986—2018 年,三峡库区生态系统服务价值总量由 1 639.56 亿元持续增长到 1 662.01 亿元,整体增幅 1.37%;(4) 研究区 ESV 具有空间正向自相关性,其中高值区聚集明显,中低值区分区域相邻布局;(5) 土地利用程度与 ESV 存在强烈的正相关关系。三峡库区近 30 年来的生态系统服务价值整体上有所提升,生态状况有所改善,但区域间差异较大,局部地区仍需特别关注,生态系统服务价值与土地利用之间存在着密切相关性。

**关键词:**土地利用; 生态系统服务; 时空特征; GIS; 三峡库区

**中图分类号:**X171; F062.2

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2021)02-0309-10

## Spatial and Temporal Changes of Ecosystem Service Value in the Three Gorges Reservoir Area in the Past 30 Years Based on Land Use

LI Hui<sup>1,2</sup>, ZHANG Xiaoyuan<sup>1,2</sup>, GUO Honglei<sup>3</sup>

(1.Chongqing Key Laboratory of Spatial Information Data Mining and Big Data Integration of Ecological

Environment, Chongqing 401320, China; 2.Chongqing College of Finance and Economics, Chongqing 401320, China;

3.Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** In order to analyze and explore the spatial and temporal variation characteristics of ecosystem service value (ESV) in the Three Gorges Reservoir area, based on Landsat TM/Landsat 8 OLI remote sensing image, the land use data of 1986, 1995, 2000, 2007, 2010 and 2018 in the study area were extracted by using RS and GIS technology, and the change trend of land use type was analyzed by using dynamic index model and land use degree index model. On the other hand, the ecosystem service value of the study area in the corresponding years was calculated, its temporal and spatial evolution characteristics were analyzed, and the relationship between land use degree and ESV was analyzed. The results show that: (1) from 1986 to 2018, the areas of cultivated land, forestland and grassland in the Three Gorges Reservoir area showed a decreasing trend; the water area, construction land and unused land area showed an increasing trend; (2) the change rates of different land use types were different, among which the construction land and water area changed faster, while the cultivated land, forestland, grassland and unused land changed slower; (3) in the period 1986—2018, the total value of ecosystem services in the Three Gorges Reservoir area continued to increase from 163.956 billion yuan to 166.201 billion yuan, with an overall growth rate of 1.37%; (4) ESV in

收稿日期:2020-05-25

修回日期:2020-06-04

资助项目:2020 年重庆市教育委员会人文社会科学研究重点项目(20SKGH285);2019 年重庆市社会科学规划项目(2019QNGL29);重庆市科学技术局项目(cstc2020jcyj-msxmX0582);2020 年重庆市教育委员会科学技术研究计划项目(KJQN202002101);重庆工商大学融智学院 2019 年度校级自然科学一般项目(20197007)

第一作者:李辉(1989—),男,湖南株洲人,讲师,硕士,主要从事资源环境评价研究。E-mail:lh25941630@163.com

the study area had a positive spatial autocorrelation, in which the high value areas clustered obviously and the low value areas were adjacent; (5) there was a strong positive correlation between land use and ESV. In the past 30 years, the ESV of the Three Gorges Reservoir area had been improved as a whole, and the ecological situation had been improved. However, there were great differences among regions, special attention should be paid to some specific regions; there was a close relationship between the ecosystem service value and land use. The results of this study can provide reference for the sustainable utilization of land resources and ecological environment in the Three Gorges Reservoir area.

**Keywords:** land use; ecosystem service; temporal and spatial characteristics; GIS; Three Gorges Reservoir area

土地资源是人类赖以生存和发展的基础<sup>[1-6]</sup>。土地利用/覆被变化(LUCC)是全球气候变化的主要原因并且与人类活动有着非常紧密的联系,因此,对土地利用或覆被变化的研究是全球十分热点的研究内容之一<sup>[7-8]</sup>。随着我国发展的需要,造成人地矛盾越来越突出,越来越重视对土地利用的研究。根据土地利用的研究,我们可以对人类活动对全球环境变化产生的影响进行定性和定量的评价,从而为资源环境的可持续开发利用提供依据<sup>[9]</sup>。生态系统服务是指通过生态系统的结构、过程和功能直接或间接得到的生命支持产品和服务,是人类社会的关键自然资本,维持和保育生态系统服务是实现可持续发展的基础<sup>[10]</sup>。土地利用/覆盖变化(LUCC)能改变生态系统的结构、过程和功能,进而影响生态系统服务<sup>[11]</sup>。当前全球所面临的生态环境危机的本质是由于生态系统服务功能被破坏的后果。目前,国内外在生态系统服务价值的评估方法上都开展过大量的研究,但统一的生态系统服务价值的评估体系尚未形成<sup>[12]</sup>。总体来说,生态系统服务价值的评估可以归纳为两大类,一是基于单位服务功能价格方法,二是基于单位面积价值当量因子方法,前者所采用的评估方法涉及的参数较多且计算繁琐,同时标准无法统一,因此在具体理论及方法上尚未形成突破<sup>[13]</sup>;后者在评估方法的选取上充分借鉴了 Costanza 相关研究的成果,相对于前者而言,当量因子法相对直观、数据量少、评估比较全面且可比性高,特别适用于区域和全球尺度生态系统服务价值评估。我国学者谢高地等<sup>[14]</sup>在 Costanza 评价模型基础上改进并计算得到中国生态系统服务价值的基础当量,被大多数学者和研究人员借鉴并广泛应用于评估国家、省市县、城市群、流域等不同空间尺度的生态系统服务价值。目前,对于土地利用/覆被变化和生态系统服务价值之间关系的研究相对较少,如韩增林等<sup>[15]</sup>运用地统计学方法及地理加权回归模型对辽东湾北部区近 30 a 的土地利用强度与生态系统服务价值的时空关系进行了分析;但从长时间序列和土地利用角度对三峡库区生态系统服务

价值进行全面研究还相对较少。

三峡库区拥有十分独特而脆弱的生态系统,是长江经济带乃至全国重要的生态宝库,在当前及今后相当长的时期内三峡库区的生态环境在长江经济带的发展中将始终占据着十分重要的地位<sup>[16]</sup>。随着长江上游地区经济快速发展和三峡大坝的建设及蓄水,使得库区土地利用格局发生了较大变化,大量生态用地被淹没,建设用地规模不断扩大,使得区域的生态系统服务价值也发生了一定的变化。本文利用 RS 和 GIS 技术,提取三峡库区 1986 年、1995 年、2000 年、2007 年、2010 年和 2018 年的各类土地利用的数量以及空间演变情况,进而对研究区 1986—2018 年的土地利用变化规律进行时空演变分析,并通过相关模型对研究区的生态系统服务价值的时空演变特征进行探究和分析,为库区的可持续发展提供参考。

## 1 研究区概况

三峡库区的地理位置位于东经 106°20′—110°30′,北纬 29°00′—31°50′(长江中上游地区),并与四川盆地的相互连接,南北两面分别为川鄂高原和大巴山,其包括巴南区、江津区、长寿区、石柱县、巫山县、渝中区、武隆县、巫溪县、北碚区、丰都县、奉节县、沙坪坝区、南岸区、云阳县、渝北区、涪陵区、开县、九龙坡区、大渡口区、江北区、万州区和忠县 22 个重庆市所辖的区县以及湖北省的 4 个区县(夷陵区、秭归县、兴山县和巴东县)(图 1)。亚热带季风气候是三峡库区的主要气候类型,每年各个地区的降水量几乎相同,总量为 1 000~1 800 mm。在库区内水土流失严重,滑坡、泥石流、崩塌以及地震经常发生。随着三峡工程的修建,库区蓄水,从而改变了库区的气候环境,扩大了水域面积,减小了日夜温差。因此,对三峡库区土地利用变化特征的研究具有重大意义。三峡库区幅员面积大,其土地资源的总量大而耕地少,人均耕地严重不足。研究区以紫色土、粗骨土、石灰土以及水稻土作为主要的土壤类型,植被种类多样,自然资源储量丰富。三峡库区土地类型相对单一,主要分类类型为山地及丘陵,山地面积占库区总

面积的 76%,丘陵其次,占库区总面积的 15%,地形起伏大、地貌类型多样,林地农用地中占比较大,耕地以坡耕地为主,零散分布,旱地居多;可利用率的建

设用地很低,基础设施的建设成本高、投资大,各土地利用类型分布特点各异,土地利用水平空间上的差异较大,是典型的大库区、大山区。

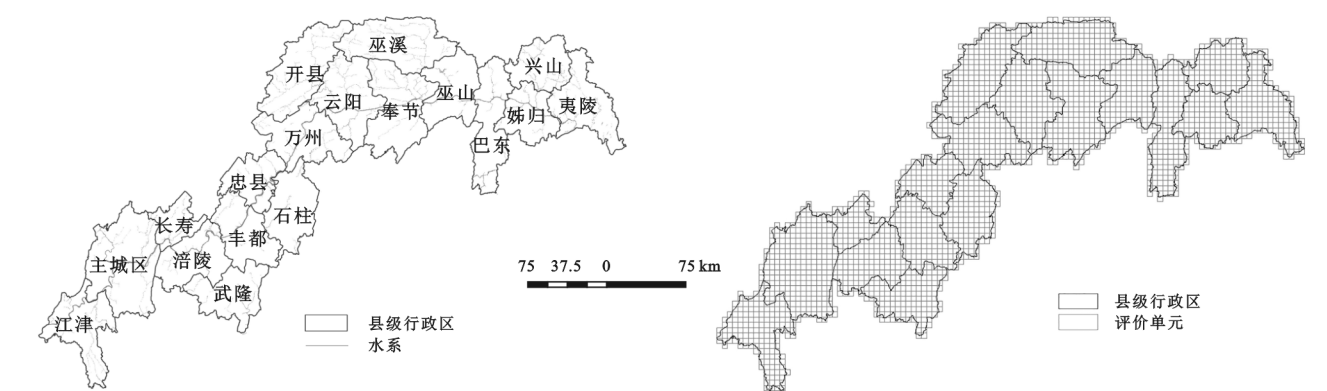


图 1 研究区概况及评价单元格划分

## 2 数据源和研究方法

### 2.1 数据源

文章以轨道号为 125038, 125039, 126038, 126039, 126040, 127038, 127039, 127040, 128039, 128040 的三峡库区 1986 年、1995 年、2000 年、2007 年、2010 年和 2018 年的 Landsat TM/Landsat 8 OLI 遥感影像作为原始数据源(从影像的获取质量选取年份)。对于所获取的所有遥感图像均以 ALBERS 投影进行投影,使用中央经线为东经 110°,分别使用北纬 25°和 47°作为双标准纬线,其中获取的三峡库区 TM 影像数据的 1—5 及 7 波段的空间分辨率为 30 m,第 6 波段的空间分辨率为 120 m。文中所涉及到的地理空间矢量行政区数据的来源为《地理国情监测云平台》(<http://www.dsac.cn/>),其他相关数据源自研究区历年统计公报,如重庆市统计年鉴数据和湖北省统计年鉴数据和各年全国农产品成本收益资料汇编数据。

### 2.2 数据处理

由于遥感传感器自身就具有一定的误差,再加上辐射受大气的影响,所以对获取到存在几何畸变和辐射畸变等问题的遥感数据进行了一定的遥感技术处理,如对遥感影像进行判读前,需要使用 Erdas 9.1 对遥感影像进行适当的校正(辐射和几何)以及镶嵌处理,并对影像进行增强处理,使影像更为清晰,解译标志更为明显<sup>[17-18]</sup>。而后对遥感影像进行解译,得到需要的土地利用现状数据。本研究将计算机图像处理和目视解译的方法结合起来对 1986 年、1995 年、2000 年、2007 年、2010 年、2018 年的 TM 遥感影像图进行解译,从而获得对应年份的土地利用现状数据。

### 2.3 研究方法

2.3.1 土地利用数量变化研究 本文从研究区各类土地利用的数量变化和空间分布状况的演变以及土

地利用程度的变化等情况进行量化分析,以揭示区内土地利用特征<sup>[19-22]</sup>。引入 GIS 等手段,运用软件空间统计分析功能、制图功能等将三峡库区 1986 年、1995 年、2000 年、2007 年、2010 年、2018 年的土地利用现状数据进行分类统计,并对在时间与空间上对其进行分析。

2.3.2 土地利用动态指数模型 文章引入单一土地利用动态度和综合土地利用动态度,并运用土地利用动态指数模型,分别对研究区各类土地利用类型的数量变化和速度的变化进行分析,同时对整个研究区各类土地利用的数量和速度变化进行研究分析,土地利用动态指数模型如下<sup>[23-24]</sup>:

(1) 单一土地利用动态度

$$K = \frac{u_b - u_a}{u_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中:K 为某一种土地利用类型在研究年限内的动态度; $u_a, u_b$ 为要研究的起始期以及研究的结束期某一种土地利用类型的数量; $T$ 为研究的时间跨度(单位为 a);K 为某一土地利用类型在研究时间跨度内的变化速率<sup>[25]</sup>。

(2) 综合土地利用动态度

$$Lc = \left( \sum_{i=1}^n \Delta Lu_{i-j} / 2 \sum_{i=1}^n Lu_i \right) \times T^{-1} \times 100\% \quad (2)$$

式中: $Lu_i$ 为起始期第  $i$  类土地利用类型的面积; $\Delta Lu_{i-j}$ 为研究期内第  $i$  类土地利用类型转化为非  $i$  类土地利用类型的面积的绝对值; $T$ 为研究的时间跨度(单位为 a);Lc 为整个研究区的土地利用综合变化速率。

2.3.3 土地利用程度指数模型 土地利用的广度和深度主要以土地利用程度进行测算<sup>[26]</sup>,体现出土地收到其自然属性以及人类活动的双向影响程度。本文引入刘纪远等<sup>[27]</sup>提出的土地利用程度综合分析方



法,并充分结合三峡库区的现实情况,将研究区的土地利用程度划分为 4 个等级,土地利用程度的分级指数见表 1,可以通过计算得到研究区的土地利用程度指数,具体计算公式如下:

$$L=\sum_{i=1}^n(A_i\times C_i)\tag{3}$$

式中: $L$  为整个研究区的土地利用程度指数; $A_i$  为研究区内第  $i$  级土地的土地利用程度分级指数; $C_i$  为研究区内第  $i$  级土地面积占整个研究区面积的百分比; $n$  为土地利用程度的分级数。

$$C_i=CC_i/HJ\tag{4}$$

式中: $CC_i$  为第  $i$  级土地利用类型的总面积; $HJ$  为整个研究区土地的总面积。

$$\Delta I_{b-a}=I_b-I_a=(\sum_{i=1}^nA_i\times C_{ib})-(\sum_{i=1}^nA_i\times C_{ia})\tag{5}$$

式中: $I_a$ 、 $I_b$  分别为研究初始期及研究终止期的土地利用程度指数; $A_i$  为第  $i$  级土地利用程度分级指数; $C_{ib}$ 、 $C_{ia}$  分别为研究初始期及研究终止期第  $i$  级土地利用程度的面积。

表 1 土地利用程度指数

类型 分级	未利用土 地级	林、草、 水用地级	农业 用地级	建设 用地级
土地利用类型	未利用地	林地、草地及水域	耕地	城镇用地
分级指数	1	2	3	4

2.3.4 生态系统服务价值核算模型 本文借鉴谢高地等<sup>[14]</sup>2007 年所修订的生态系统生态服务价值当量核算因子表,标准当量为单位(1 hm<sup>2</sup>)面积农田生态系统粮食生产的净利润作为 1 个标准当量因子的生态

系统服务价值量。研究区以旱地和水田作为主要的耕地类型,大部分种植水稻及玉米;有林地、灌木林地和针阔叶混交林为主要的林地类型;盐碱地和滩涂为未利用地主要类型。本文研究尺度相对较小,区域自然地理特征相对一致,且农业生产方式无大差异,生态系统属性基本一致,能够运用当量赋值的方法对区域生态系统服务价值进行核算。在借鉴前人研究成果的基础上,充分结合三峡库区真实状况对标准当量的系数进行适当的修订,具体修正模型如下:

$$ESV_k=\sum A_k\times VC_k\tag{6}$$

$$ESV=\sum_kESV_k\tag{7}$$

式中: $ESV_k$  和  $ESV$  分别为研究区第  $k$  类型的服务价值和总服务价值; $A_k$  为第  $k$  类型的总面积; $VC_k$  为价值系数,是第  $k$  类型单位面积的生态系统服务价值。

本文所运用的基础数据来源于中国统计年鉴数据和重庆市统计年鉴以及湖北省统计年鉴,并参考了全国各年农产品成本收益相关资料的汇编,部分数据在参看数据源的基础上,通过一定的计算获得。根据三峡库区的真实状况,借鉴和参考谢高地等<sup>[28]</sup>的相关研究成果,修正了研究区各类型的生态系统的服务价值系数,以三峡库区 1986 年、1995 年、2000 年、2007 年、2010 年以及 2018 年 6 年的粮食平均产量(4 468 kg/hm<sup>2</sup>)以及平均价格(1.46 元/kg)为研究区基准单产和价格基准,核算出了研究区生态系统服务价值当量因子,具体数据为 931.90 元/hm<sup>2</sup>,利用公式(6)及公式(7)进行计算,得到三峡库区 1986—2018 年的生态系统单位面积生态服务价值的平均值(表 2)。

表 2 1986—2018 年三峡库区生态系统单位面积生态服务价值平均值 元/hm<sup>2</sup>

一级类型	二级类型	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
供给服务	食物生产	1355.68	135.97	367.54	142.76	0	22.40
	原料生产	136.57	3366.18	62.68	14.43	0	0.00
	水资源供给	762.61	3936.50	1207.65	27587.36	0	47.89
调节服务	气体调节	589.64	4503.66	1204.65	0.00	0	0.00
	气候调节	1224.42	3501.25	1234.62	587.75	0	0.00
	净化环境	198.87	3654.61	360.65	8670.86	0	1606.33
	水文调节	512.38	8865.33	456.51	17335.25	0	3204.43
支持服务	土壤保持	1945.24	4843.65	2543.34	15.34	0	27.32
	维持养分循环	2211.54	1752.34	1746.43	25921.63	0	15.24
	生物多样性	915.35	4204.34	125.53	3346.24	0	453.87
文化服务	景观类型	18.88	2986.54	65.67	5756.43	0	16.16
总计		9871.18	41750.37	9375.27	89378.05	0	5393.64

3 结果与分析

3.1 三峡库区土地利用类型结构分析

在 RS 和 GIS 的技术支撑下,对 1986 年、1995 年、2000 年、2007 年、2010 年和 2018 年三峡库区土

地利用现状数据进行分类统计,进而得到各年对应各类土地利用类型面积和比例,结果见表 3;运用 Arc-GIS 10.1 软件的制图功能,得到了三峡库区 1986 年、1995 年、2000 年、2007 年、2010 年和 2018 年 6 期的土地利用类型空间分异图(图 2)。

表 3 1986—2018 年三峡库区各土地利用类型面积及占比

年份	地类	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
1986	面积/km <sup>2</sup>	22141.89	31879.08	2306.04	764.86	234.59	8.80
	比例/%	38.62	55.60	4.02	1.33	0.41	0.02
1995	面积/km <sup>2</sup>	21920.95	31720.26	2286.12	964.14	434.71	9.09
	比例/%	38.23	55.32	3.99	1.68	0.76	0.02
2000	面积/km <sup>2</sup>	21840.97	31471.42	1408.91	1323.05	1273.61	17.30
	比例/%	38.09	54.89	2.46	2.31	2.22	0.03
2007	面积/km <sup>2</sup>	21699.71	31408.35	1405.73	1432.63	1372.28	16.57
	比例/%	37.85	54.78	2.45	2.50	2.39	0.03
2010	面积/km <sup>2</sup>	21564.25	31380.23	1398.50	1484.62	1490.64	17.04
	比例/%	37.61	54.73	2.44	2.59	2.60	0.03
2018	面积/km <sup>2</sup>	21340.44	31206.16	1396.06	1513.67	1861.99	16.96
	比例/%	37.22	54.43	2.43	2.64	3.25	0.03

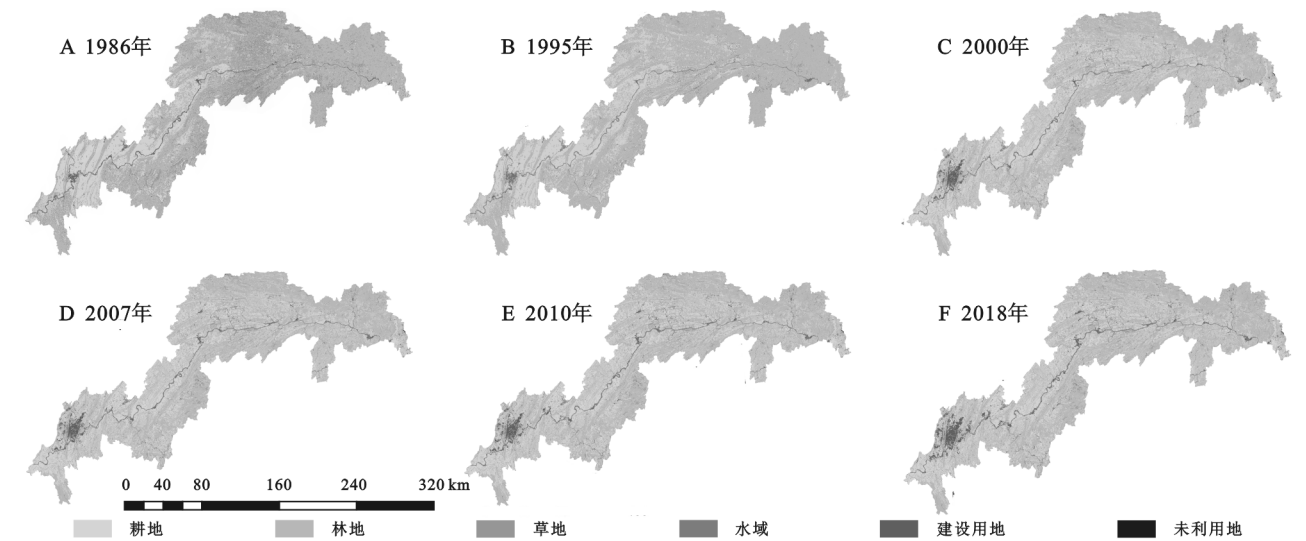


图 2 1986—2018 年三峡库区土地利用类型空间分异

通过表 3 和图 2 我们可以看出三峡库区 1986—2018 年土地利用的情况,总体来看,三峡库区土地利用的主要类型是林地和耕地,耕地在库区的中上游段分布居多。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)以林地为主要的土地利用方式;草地零星地分布在三峡库区的部分区域;建设用地规模随着时间地变化不断变大。在研究年限内,水域、建设用地和未利用地面积都呈现增多的状态;草地、耕地和林地呈现减少的状态,三峡库区用地类型以林地与耕地为主。在近 30 a 的时间里,建设用地是三峡库区所有土地利用类型中变化幅度最大的,其面积由 234.59 km<sup>2</sup> 增长到了 1 861.99 km<sup>2</sup>,增加了 2.84%,并呈现不断增加的趋势;其次是草地,面积由 2 306.04 km<sup>2</sup> 减少到 1 396.06 km<sup>2</sup>,减少了 1.59%;第三是耕地,面积由 22 141.89 km<sup>2</sup> 减少到 21 340.44 km<sup>2</sup>,减少了 1.4%,并呈现逐年减少的

趋势;水域面积从 764.86 km<sup>2</sup> 增加到了 1 513.67 km<sup>2</sup>,这是由于三峡大坝工程的建设和使用,导致库区水面面积不断增加;林地面积由 31 879.08 km<sup>2</sup> 减少到 31 206.16 km<sup>2</sup>;未利用地占三峡库区总面积的比例本身比较小,变化不明显,但在总量上有一定的增幅,其具体变化过程分为 4 个阶段:先增加后减少,再次增加,再次减少。鉴于此,三峡库区的国土管理部门需要有针对性的制定相关耕地和林地的保护政策并切实推行,以保障库区的粮食和生态安全。

3.2 三峡库区土地利用变化速度分析

引入单一土地利用动态度及综合土地利用动态度对三峡库区土地利用变化速率进行分析,在利用 1986 年、1995 年、2000 年、2007 年、2010 年和 2018 年三峡库区土地利用现状分类数据的基础上,采用土地利用动态度的计算公式获得各土地利用类型的单一土地利用动态度及综合土地利用动态度,见表 4。

从表 4 可以看出,三峡库区近 30 a 来建设用地

的土地利用变化速度最快,在 1995—2000 年时段变化率最明显,增长率达到了 38.596%;耕地在 2010—2018 年时段变化最明显,减少率为 0.259%;林地、水

域、草地和未利用地在 1995—2000 年时段变化最明显,林地减少率、水域增加率、草地减少率和未利用地增加率分别为 0.157%,7.445%,7.674%,18.05%。

表 4 三峡库区 1986—2018 年各类土地利用动态度

时段	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	综合动态度
1986—1995	−0.111	−0.055	−0.096	2.895	9.478	0.366	0.077
1995—2000	−0.073	−0.157	−7.674	7.445	38.596	18.050	0.421
2000—2007	−0.092	−0.029	−0.032	1.183	1.107	−0.608	0.052
2007—2010	−0.208	−0.030	−0.172	1.210	2.875	0.950	0.099
2010—2018	−0.259	−0.139	−0.044	0.489	6.228	−0.114	0.175

研究区土地利用综合动态度最大的是 1995—2000 年时段,综合动态度为 0.421,由此可知,在整个研究期内,三峡库区土地利用的变化速度最快的时期在 1995—2000 年时段,变化率为 0.421%;在这一时段水域、建设用地和未利用地都以较快的速度增长,而耕地、林地以及草地都以不同程度的变化速度减少,这是由于 1997 年重庆直辖,加快了三峡库区的发展。三峡库区在 2010—2018 年时段土地利用变化速度相对较快,变化率为 0.175%,由此可见,建设用地和水域的增长速度加快,而其余类型的地类都以不同程度的速度减少。三峡库区在 2007—2010 年时段和在 1986—1995 年时段土地利用变化率分别为 0.099%,0.077%,水域、建设用地和未利用地都以不同程度的变化速度增长,耕地、林地以及草地都以不同程度的变化速度减少;三峡库区在 2000—2007 年时段的土地变化率为 0.052%,水域和建设用地都以不同程度的变化速度增长,耕地、林地、草地以及未利用地都以不同程度的变化速度减少。

综合分析,水域和建设用地的土地利用变化率在 5 个时段均为正值,表明研究区近 30 a 来水域和建设用地的面积不断增加;耕地、林地和草地的土地利用变化率在 5 个时段均为负值,表明其耕地、林地和草地的面积不断减少;而未利用地的面积变化在这近 30 a 的 5 个时段中呈先增加后减少再增加又减少的趋势。在 1995—2000 年时段三峡库区土地利用变化率达到峰值,说明在该时段三峡库区城乡规划建设力度较大。

3.3 三峡库区土地利用程度分析

通过对研究区土地利用程度的计算和分析,能够进一步认识土地利用变化的发展程度<sup>[11]</sup>,分析发现研究区土地利用是否处于发展状态。利用 1986 年、1995 年、2000 年、2007 年、2010 年和 2018 年三峡库区土地利用现状数据和土地利用程度的核算公式,本文得到了研究区各土地利用类型的土地利用程度和三峡库区近 30 a 的土地利用程度综合指数以及三峡库区近 30 a 来土地利用程度变化量,见表 5。

表 5 三峡库区 1986—2018 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	区域综合程度	$\Delta I_{b-a}$
1986	1.1585	1.1120	0.0804	0.0267	0.0164	0.0002	2.3942	0.0031
1995	1.1470	1.1065	0.0797	0.0336	0.0303	0.0002	2.3973	0.0277
2000	1.1428	1.0978	0.0491	0.0462	0.0889	0.0003	2.4251	0.0010
2007	1.1354	1.0956	0.0490	0.0500	0.0957	0.0003	2.4261	0.0018
2010	1.1283	1.0946	0.0488	0.0518	0.1040	0.0003	2.4278	0.0091
2018	1.1166	1.0885	0.0487	0.0528	0.1299	0.0003	2.4369	

三峡库区在 1986—2018 年里耕地的土地利用程度是最高的,未利用地的土地利用程度是最低的;水域和建设用地的土地利用程度在 1986—2018 年近 30 a 里呈现逐年上升的趋势,而耕地、林地和草地的土地利用程度在 1986—2018 年近 30 a 里呈现逐年下降的趋势。从总体来看,未利用地的土地利用程度在 1986—2018 年期间呈现上升的趋势,但其实际变化不明显,这是由于未利用地面积本身基数较小造成的。

研究区在 1986—1995 年的土地利用程度变化量为 0.003 1,1995—2000 年的土地利用程度变化量为 0.027 7,2000—2007 年的土地利用程度变化量为 0.001,2007—2010 年的土地利用程度变化量为 0.001 8,2010—2018 年的土地利用程度变化量为 0.009 1,由于该 5 个时段的土地利用程度变化量都大于 0,因而在这 5 个时段研究区都处于发展期。由于研究区 1995—2000 年的土地利用程度变化量是最大的,在一定程度上可以说是发展速度最快,这是由于 1997 年重庆直辖加速了三峡库区的发展。

研究区在 1986—1995 年的土地利用程度变化量

3.4 生态系统服务价值时空演变分析

在 GIS 技术的支持下,结合三峡库区生态系统单位面积生态服务价值表,得到了 1986—2018 年三峡库区生态系统服务价值核算结果以及结构变化情况表(表 6)。通过对表 6 分析可知,研究区 1986—2018 年生态系统服务价值总量由 1 639.56 亿元持续增长到 1 662.01 亿元,增长率 1.37%;单位面积生态系统服务价值由 28 596.02 元/hm<sup>2</sup>增长到 28 987.57 元/hm<sup>2</sup>。研究区各土地利

用类型的生态系统服务价值占比大小依次为:林地>耕地>水域>草地>未利用地>建设用地;研究期内耕地、林地和草地的生态系统服务价值持续减少,变化率分别为-3.62%,-2.11%,-39.45%;水域和未利用地生态系统服务价值持续增加,变化率为 97.91%,0.01%;耕地生态系统服务价值减速逐渐降低;林地、草地和水域生态服务价值呈现先增后减趋势;未利用地生态服务价值逐年增加。

表 6 1986—2018 年三峡库区各地类生态系统服务价值结构及变化

景观类型	价值划分	生态系统服务价值/亿元						生态服务价值变化率/%				
		1986 年	1995 年	2000 年	2007 年	2010 年	2018 年	1986—1995 年	1995—2000 年	2000—2007 年	2007—2010 年	2007—2018 年
耕地	价值量	218.57	216.39	215.60	214.20	212.87	210.66					
	比例/%	13.33	13.13	12.98	12.85	12.76	12.68	-0.20	-0.15	-0.13	-0.09	-0.08
林地	价值量	1330.96	1324.33	1313.94	1311.31	1310.14	1302.87					
	比例/%	81.18	80.34	79.10	78.67	78.50	78.39	-0.84	-1.24	-0.43	-0.17	-0.11
草地	价值量	21.62	21.43	13.21	13.18	13.11	13.09					
	比例/%	1.32	1.30	0.80	0.79	0.79	0.79	-0.02	-0.50	-0.01	0.00	0.00
水域	价值量	68.36	86.17	118.25	128.05	132.69	135.29					
	比例/%	4.17	5.23	7.12	7.68	7.95	8.14	1.06	1.89	0.56	0.27	0.19
建设用地	价值量	0	0	0	0	0	0					
	比例/%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
未利用地	价值量	0.05	0.05	0.10	0.10	0.10	0.10					
	比例/%	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
合计	价值量	1639.56	1648.37	1661.1	1666.84	1668.91	1662.01					
	比例/%	100	100	100	100	100	100	0.00	0.01	-0.01	0.01	0.00

本文通过计算评价单元格单位面积生态系统服务价值,引入中心点赋值法,运用 GIS 软件进行生态系统服务价值空间插值,结合几何间隔分类,采用 GIS 自然间断点法,并充分考虑研究区的真实状况,将研究区生

态系统服务价值评价单元的价值划分为低[0,2000)、较低[2000,4000)、中[4000,6000)、较高[6000,8000)、高[8000,∞)共 5 个价值等级,并得到研究区 6 期单位面积生态系统服务价值空间格局分布图(图 3)。

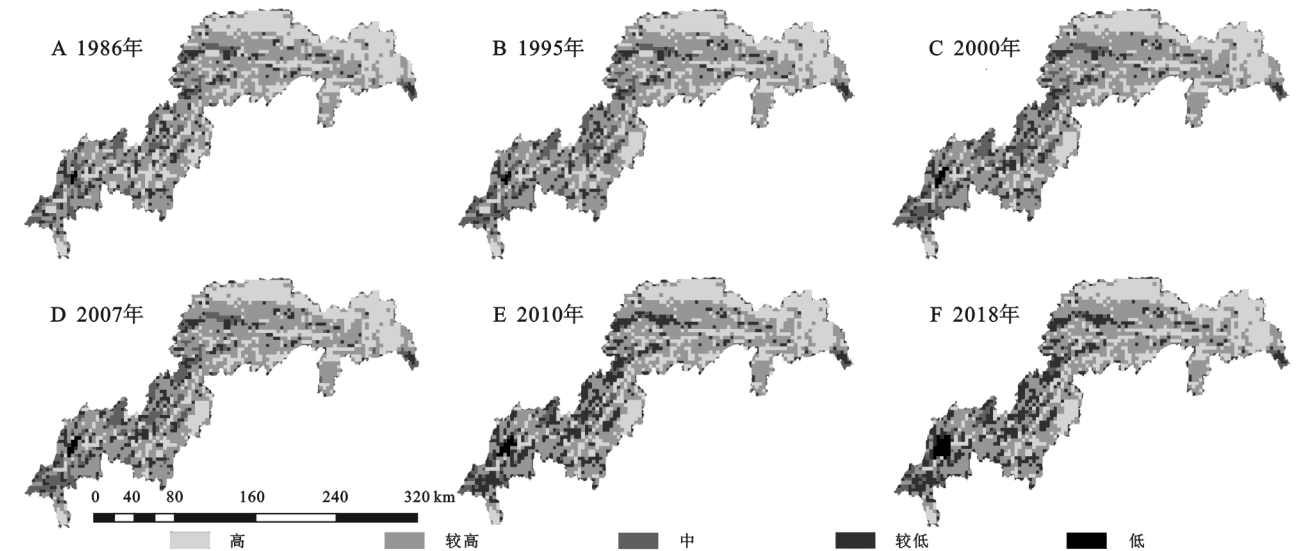


图 3 1986—2018 年三峡库区生态系统服务价值空间格局演变

从图 3 可以看出,三峡库区单位面积生态系统服务价值主要以较高和高两个等级为主,其面积平均占

比为 53%,32.53%;高和中等面积比例呈现减少趋势;低、较低和较高生态服务价值面积占比呈现增加



趋势,所有等级的面积变化速率为先增后减;东北部、东南部山地以及长江沿岸区域单位面积生态系统服务价值较高,主要为高级和较高等级分布区域,江津区、长寿区以及忠县是中等级生态系统价值的主要分布区,重庆主城区和渝西地区是较低和低级生态系统服务的集中区域。

3.5 生态系统服务价值空间自相关分析

从表 7 空间自相关分析结果显示,研究区 1986—2018 年的 6 个时期的生态系统服务价值全局 Moran's *I* 值全部大于 0,且 *p* 值全部低于 0.001,说明三峡库区生态系统服务价值的空间分布呈现出一定的正向自相关性,同时在空间上呈现出显著的聚集性,其中高值区聚集明显,中低值区分区域相邻布局;研究区 1986—2018 年 6 个时期的全局 Moran's *I* 指数总体上呈现上升的趋势,在 1986 年的值最低,为 0.012 8,表明生态系统服务价值的空间自相关性持续增强,由于库区的建设与区域发展等因素促使三峡库区生态系统服务价值的空间聚集性持续加强。

表 7 1986—2018 年三峡库区 ESV 空间自相关性

指数	1986 年	1995 年	2000 年	2007 年	2010 年	2018 年
Moran's <i>I</i>	0.0128	0.0132	0.0135	0.0136	0.0136	0.014
<i>p</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
<i>z</i>	4.7524	4.7626	4.7985	4.8398	4.8545	4.9925

3.6 土地利用程度对不同生态系统服务类型的影响分析

为了定量验证并进一步分析土地利用与生态系统服务价值的相关关系,本文计算出了研究区 1986 年、1995 年、2000 年、2007 年、2010 年以及 2018 年 6 个时期的土地利用程度综合指数分别为 2.394 2、2.397 3、2.425 1、2.426 1、2.427 8、2.436 9,再核算研究区土地利用程度综合指数与生态系统服务价值的相关系数,同时在 Origin 2017 软件中生成二者关系的散点图,并进行线性拟合,结果见图 4。

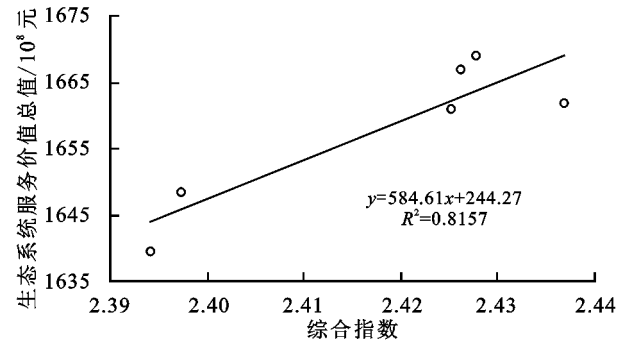


图 4 三峡库区土地利用程度与生态系统服务价值相关关系

研究区土地利用程度综合指数与生态系统服务价值的相关系数为 0.815 7,表示二者关系为强相关,

且拟合曲线显示研究区生态系统服务价值随土地利用程度的增加呈上升趋势(图 4),说明二者存在显著的正相关关系。

土地利用程度的加深表明人类对土地的劳动及资本投入增加,同时表明人类对生态系统干扰也越多。研究区土地利用程度的增加主要是由于库区社会经济的快速发展,催生了对大量建设用地的需求,而建设用地的主要来源是耕地和林地,使得这两种地类有所减少,但由于“天保工程”,“退耕还林”等生态保护政策的有效实施,又使得林地和耕地在大量转化为建设用地的同时有一定的补偿来源。另一方面,由于库区的三次蓄水,使得库区水平面有所上升,水域面积增加较为显著。在生态系统服务价值的构成中,林地和耕地的价值始终低于水域的价值,林地和耕地的减少导致生态系统服务价值的降低要低于水域增加的价值,最终使得研究区生态系统服务价值增加。

4 讨论与结论

4.1 讨论

(1) 本文研究方法存在一定的局限性。生态系统服务价值的评估存在许多主观因素,同一区域在不同的评价方法、研究视角以及参数选择等方面都会存在差异,从而影响评估结果,但生态系统服务价值的变化趋势不会有较大差异,不会对研究结果的比较产生影响。如王大菊等<sup>[29]</sup>采用替代花费法、影子工程法、碳税法、市场价值法和水量平衡法对三峡库区的生态系统服务价值进行量化评估的结果为 2 027.59 亿元(2015 年);齐静等<sup>[30]</sup>采用影响生态系统质量状况的生态参数修订当量因子并建立生态系统服务价值(ESV)估算模型对三峡库区 2000—2015 年 ESV 进行了核算,其结果为和 3 781.16 亿元。本文采用修订后的单位面积价值当量因子法评估了三峡库区 1986—2018 年近 30 a 的生态服务价值,得到的结果为 2 106.6~2 185.7 亿元,与王大菊等<sup>[29]</sup>的评估结果相接近,但与齐静等<sup>[30]</sup>相差较大。因此,参数修订当量因子法也存在一定的不足,相同研究区域修正方法和参数的不同都会使评价结果产生差异,而且局部的差异也难以用统一的参数来衡量。因此,迫切需要有精准性更好地评估模型来提高生态系统服务价值量化评估的准确性。

(2) 土地利用变化对生态系统服务价值影响。三峡库区作为我国重要的水源和生态涵养区,其 30 a 来土地利用发生剧烈变化。林地是研究区最主要的



生态系统类型,占 50%以上,林地面积逐年降低,在研究期始末降至 54.74%;建设用地面积增加迅猛,由 1986 年的 234.59 km<sup>2</sup>增至 2018 年的 1 861.99 km<sup>2</sup>,增长率高达 693.76%。土地利用主要表现为耕地、林地转为建设用地和水域的变化特征,这也使得生态系统服务价值的协同改变。

(3) 通过对土地利用程度与生态系统服务价值的时空耦合关系分析可知,土地利用程度的增加在短期内会带来显著的经济效益,由于本文研究年限跨越三峡库区的蓄水,才使得生态系统服务总价值未呈现减少,但长此以往,土地利用程度的无限增加会使得生态系统服务价值减少,同时造成的生态经济损失将难以估量。鉴于此,在对土地进行投资和使用,慎重决定投资方式及建设力度,协调好各种土地利用类型的比例,构建完善的土地利用类型结构,尤其是研究区的渝西区域和湖北 4 县地区。

(4) 生态系统服务价值的变化研究是区域可持续发展相关研究的热点内容之一,本文以三峡库区为研究对象,对其 30 a 来土地利用格局时空变化特征和生态系统服务价值进行了评估和分析,研究可为三峡库区国土开发政策制定和核算生态系统服务价值提供参考。但由于生态系统服务价值研究还处于发展阶段,相关理论体系和研究方法有待进一步完善和提升,如何更准确地评估区域生态系统服务价值以及分析其与土地利用之间的内在联系和变化机理将有待于进一步探讨。

## 4.2 结 论

(1) 林地和耕地是研究区最主要的土地利用类型,土地利用类型变化速度最快的是建设用地,最慢的是林地;建设用地、未利用地和水域呈现增加的状态,草地、耕地和林地正好相反,呈现减少的状态,建设用地、未利用地和水域以及草地、耕地和林地的变化程度和变化过程又存在着明显的差异。因此,继续保持耕地和林地作为研究区主要地类的优势地位依然重要。

(2) 三峡库区土地变化速率均为正值的是水域以及建设用地,建设用地和水域用地面积持续增加;草地、耕地和林地正好相反,它们的变化速率为负值,耕地、林地和草地用地面积持续减少,这需要引起相关部门的重视,及时制定有效政策缓解生态用地的减少。

(3) 1986—2018 年,研究区单位面积生态系统服务价值主要以较高和高两个等级为主,空间分异特征比较

明显,其中库区的东北部、东南部山地以及长江沿岸区域单位面积生态系统服务价值较高,重庆主城区和渝西地区是较低和低级生态系统服务的集中区域。因此,需要国土空间规划和生态环境保护等部门加强城镇建成区和扩展新区生态服务功能的补偿与维护。

(4) 1986—2018 年,研究区生态系统服务价值的总量有所增加,生态安全状况总体上有一定的改善,但局部地区还需特别加强保护,从土地利用角度制定科学合理的生态和环境保护政策。

(5) 1986—2018 年,研究区 6 个时期的生态系统服务价值的全局 Moran's *I* 值全部大于 0,体现出明显的空间正向自相关性,其中高值区聚集明显,中低值区分区域相邻布局;同时在时间上体现出差异性,主要是由于研究区特殊的地貌条件使得其优势地类的主要地位未发生变化。

## 参考文献:

- [1] 邓华,邵景安,王金亮,等.多因素耦合下三峡库区土地利用未来情景模拟[J].地理学报,2016,71(11):1979-1997.
- [2] Bryan B A, Ye Y, Connor J D. Land-use change impacts on ecosystem services value: Incorporating the scarcity effects of supply and demand dynamics[J]. Ecosystem Services, 2018,32:144-157.
- [3] 李潇然,李阳兵,韩芳芳.基于土地利用的三峡库区生态屏障带生态风险评价[J].水土保持通报,2015,35(4):188-194,2.
- [4] 杨波.基于 GIS 的土地利用/覆被变化及可持续利用研究:以重庆市奉节县为例[D].重庆:西南大学,2009.
- [5] 王蔷,黄翀,刘高焕,等.基于 Landsat 8 QA 云标识的云影识别方法研究[J].地球信息科学学报,2018,20(1):89-98.
- [6] 宋戈,李丹,王越,等.松嫩高平原黑土区耕地利用系统安全格局及其空间演变[J].农业工程学报,2014,30(4):212-221.
- [7] 戴尔阜,马良.土地变化模型方法综述[J].地理科学进展,2018,37(1):152-162.
- [8] 方恺,吴次芳,董亮.城市化进程中的土地自然资本利用动态分析[J].自然资源学报,2018,33(1):1-13.
- [9] 李辉,谭森,姜文,等.三峡库区经济发展与生态环境的时空耦合特征[J].水土保持通报,2020,40(1):243-249.
- [10] 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.
- [11] 宋小青.论土地利用转型的研究框架[J].地理学报,2017,72(3):471-487.
- [12] 傅伯杰,张立伟.土地利用变化与生态系统服务:概念、方法与进展[J].地理科学进展,2014,33(4):441-446.
- [13] 熊永柱,樊风雷,朱长柏,等.广州市生态系统服务价值

- 时空变化遥感监测[J].广东农业科学,2012,39(15):196-201.
- [14] 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.
- [15] 韩增林,孟琦琦,闫晓露,等.近 30 年辽东湾北部区土地利用强度与生态系统服务价值的时空关系[J].生态学报,2020,40(8):2555-2566.
- [16] 吴尚.近 30 年江苏省土地利用时空格局演变[J].资源开发与市场,2020,36(3):246-251.
- [17] 徐睿择,孙建国,韩惠,等.基于 MCE-Markov-CA 的郑州市土地利用时空变化模拟研究[J].地理与地理信息科学,2020,36(1):93-99.
- [18] 胡悦琴,马燕飞,张伟科.中国陆地区土地利用/覆被时空格局变化及驱动力分析[J].农学学报,2020,10(4):26-35.
- [19] 梁明,聂拼,陆胤昊,等.淮南市土地利用程度变化过程的时空演化特征[J].农业工程学报,2019,35(22):99-106.
- [20] 罗雅琴.临川区土地利用与生态系统服务价值时空变化研究[D].南昌:东华理工大学,2019.
- [21] 黄春波.基于生态系统服务的三峡库区森林景观调控研究[D].武汉:华中农业大学,2019.
- [22] 李聪聪.河北省土地利用变化对生态系统服务价值的影响研究[D].河北保定:河北大学,2019.
- [23] 朱治州,钟业喜.长江三角洲城市群土地利用及其生态系统服务价值时空演变研究[J].长江流域资源与环境,2019,28(7):1520-1530.
- [24] 白立敏.基于 ESV 系数分析土地利用对生态系统服务价值的影响[J].生态经济,2019,35(7):191-195.
- [25] 李佳鸣,冯长春.基于土地利用变化的生态系统服务价值及其改善效果研究:以内蒙古自治区为例[J].生态学报,2019,39(13):4741-4750.
- [26] 国洪磊,周启刚,焦欢,等.三峡库区土地利用变化特征研究[J].水土保持研究,2016,23(2):313-317,359.
- [27] 刘纪远,庄大方,张增祥,等.中国土地利用时空数据平台建设及其支持下的相关研究[J].地球信息科学,2002,4(3):3-7.
- [28] 谢高地,张彩霞,张雷明,等.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.
- [29] 王大菊,卫海燕,贺敏,等.基于土地利用的三峡库区生态系统服务价值时空格局分析[J].长江流域资源与环境,2020,29(1):90-100.
- [30] 齐静,邓伟,周渝,罗旭.三峡库区生态系统服务价值时空演变及驱动力[J].人民长江,2020,51(1):113-119.

~~~~~

(上接第 308 页)

- [12] 孔雪松,谢世姣,朱思阳,等.湖北省人口—土地—产业城镇化的时空分异与动态耦合分析[J].经济地理,2019,39(4):93-100.
- [13] 王晓峰,刘宇,李龙梅.基于生态文明的西安市经济技术开发区土地集约利用合理性研究[J].水土保持通报,2012,32(5):66-70.
- [14] 朱乾隆,刘鹏凌,栾敬东,等.城市土地集约利用与生态文明建设的耦合关系[J].浙江农林大学学报,2019,36(5):999-1005.
- [15] 王秀,姚玲玲,李阳,等.新型城镇化与土地集约利用耦合协调性及其时空分异:以黑龙江省 12 个地级市为例[J].经济地理,2017,37(5):173-180.
- [16] 范胜龙,张莉,曾在森,等.不同经济发展水平地区开发区土地集约利用的影响因素研究:以福建省为例[J].中国土地科学,2017,31(6):51-58.
- [17] 张欢,成金华,冯银,等.特大型城市生态文明建设评价指标体系及应用:以武汉市为例[J].生态学报,2015,35(2):547-556.
- [18] 李灿,张凤荣,朱泰峰,等.基于熵权 TOPSIS 模型的土地利用绩效评价及关联分析[J].农业工程学报,2013,29(5):217-227.
- [19] 艾凤巍.呼伦贝尔地区耕地集约利用与生态安全协调发展研究[J].中国农业资源与区划,2018,39(4):193-199.
- [20] 李晓庆,姜博,初楠臣.山东省城市土地集约利用与城镇化协调发展研究[J].地域研究与开发,2017,36(3):136-141.
- [21] 陈超,马春光.中国大宗商品期货交割库空间布局及影响因素[J].地理科学,2017,37(1):125-129.