

# 三峡库区生态系统服务价值与经济重心演变的耦合分析

阳 华<sup>1</sup>, 王兆林<sup>2</sup>, 孙思睿<sup>1</sup>, 鄂施璇<sup>2</sup>, 王 娜<sup>3</sup>

(1.重庆工商大学 长江上游经济研究中心, 重庆 400067;

2.重庆工商大学 公共管理学院, 重庆 400067; 3.中国人民大学 应用经济学院, 北京 100872)

**摘 要:**为了研究三峡库区生态系统与经济的相互驱动关系,运用重心空间耦合法、中间物质转化法等方法,计算了 2005 年、2010 年和 2015 年三峡库区生态服务价值与 GDP 增长率、城镇化率、第二产业增加值以及人均财政预算支出重心位置,并讨论了其动态耦合关系。结果表明:2005—2010 年,供给、文化服务价值重心向西南偏移,调节服务价值重心向西北偏移,支持服务价值重心向东南偏移,总生态服务价值向东北偏移。除文化服务价值外,其余服务价值重心偏移距离比较小。2010—2015 年,各类服务价值重心均向东北偏移。除文化服务价值外,其余服务价值重心偏移距离比较大;研究期内,地区 GDP 增长率重心偏移方向发生变化,其余经济重心偏移方向不变。地区 GDP 增长率、城镇化率重心的偏移距离先增后减,人均预算财政支出重心偏移距离先减后增,第二产业增加值重心的偏移距离几乎不变;地区 GDP 增长率重心与总生态服务价值重心的重叠性先增强后减弱,其余经济变量与总生态服务价值重叠性逐年增强。主要原因是林地、水域以及建设用地面积的变化,此时生态环境与经济耦合性较弱,人类活动对于环境破坏程度更高;到了后期,人口集中、产业集聚也成为影响因素,耦合性增强。

**关键词:**三峡库区; 生态系统服务价值; 重心演变; 耦合

**中图分类号:**F062.2; F127

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2021)06-0242-09

## Coupling Analysis of Ecosystem Service Value and Economic Gravity Evolution in the Three Gorges Reservoir Area

YANG Hua<sup>1</sup>, WANG Zhaolin<sup>2</sup>, SUN Sirui<sup>1</sup>, E Shixuan<sup>2</sup>, WANG Na<sup>3</sup>

(1.Upper Yangtze River Economic Research Center, Chongqing Technology and Business University,

Chongqing, 400067, China; 2.School of Public Management, Chongqing Technology and Business University,

Chongqing, 400067, China; 3.School of Applied Economics, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

**Abstract:** To explore the coordinated development of ecology and economy in the Three Gorges Reservoir area in the new era, based on relevant theories such as the change of center of gravity and the method of intermediate material conversion, we calculated the value of various ecological services and the position of center of gravity of GDP growth rate, urbanization rate, secondary industry added value and per capita fiscal budget expenditure in the Three Gorges reservoir area by each prefecture city in 2005, 2010 and 2015. The dynamic changes and coupling relationships of the position of center of gravity were discussed. The results show that in the early five years, the center of supply and cultural service value were shifted to the south-west, the adjustment service value center was shifted to the northwest, the support service value center was shifted to the southeast, and the total ecological service value was shifted to the northeast; except for cultural service value, the offset distance of other service value center was relatively small; in the last five years, the five service value centers had been shifted to the northeast; except for the value of cultural services, the offset distance of other service value center was relatively large; during the study period, the offset direction of the center of gravity of the regional GDP growth rate were changed, and that of center of gravity of the rest of the socio-economic remained unchanged; the offset distance of the center of gravity of regional GDP growth rate and urbanization rate increased first and then decreased, that of per capita budget fiscal expenditure first decreased and then increased, and that of the added value of the secondary industry was almost un-

收稿日期:2020-11-02

修回日期:2021-2-01

资助项目:重庆工商大学研究生创新项目(yjscxx2020-094-40);重庆市研究生创新项目(CYS20306)

第一作者:阳华(1992—),男,安徽合肥人,硕士研究生,研究方向为区域发展战略与规划。E-mail:985388085@qq.com

通信作者:王兆林(1979—),男,山东临沂人,博士,教授,主要从事区域规划与土地利用研究。E-mail:wzhaolin@163.com

changed; the overlap between the center of gravity of regional GDP growth rate and the total ecological service value first increased and then weakened, and the overlap between that of the remaining economic variables and the total ecological service value had increased year by year. The analysis showed that changes in forest area, water area, and construction land area are the main reasons for the changes in the value of ecological services in the early stage. At that time, the coupling between ecological environment and economy was weak, and human activities had the inverse effect on the environment; in the later stage, population concentration and industrial agglomeration were also influencing factors, and coupling was enhanced.

**Keywords:** Three Gorges Reservoir area; ecosystem service value; evolution of the center of gravity; coupling

三峡库区因其特殊的地理位置,是长江流域重要的生态保护屏障、国家战略性淡水资源库和首批生态文明先行示范区,也是推进成渝双城经济圈建设的重要组成部分。在全面建成小康社会、国家整体经济转型升级背景下,已建成库区面临着生态环境保护、经济健康发展等难题。如何在新形势下,更好地贯彻落实“两山理论”,实施“共抓大保护、不搞大开发”的方针政策,成为三峡库区当前亟需解决的问题。2020年9月,国家农业农村部指出“协调水利、生态环境、财政等相关部门,加强三峡库区水土流失综合治理,统筹纳入相关规划,并在水土保持项目、资金安排上重点向三峡库区倾斜”。坚持以一域服务全局,正确把握生态环境保护和经济发展的关系,是推动三峡库区高质量发展的内在要求,更是关系中华民族永续发展的根本大计。

关于生态系统服务价值,当前主要从理论发展、研究方法两个方面来进行相关研究。首先是关于生态系统服务价值内涵。最早可以追溯到20世纪60年代中期<sup>[1-2]</sup>,到了20世纪末,Costanza等<sup>[3]</sup>将生态系统服务价值定义为人口直接或间接地从生态系统功能中受益。James等<sup>[4]</sup>基于经济原则提出生态系统服务单位的定义。国内学者欧阳志云<sup>[5-6]</sup>、谢高地<sup>[7]</sup>等对生态系统服务内涵的发展做出了重要贡献。尽管对相关研究的兴趣激增,但是大部分对于生态系统服务收益的估算没有区分中间生态系统功能与最终生态系统服务,导致了价值估算的不一致和偏差。

其次,关于生态系统服务价值研究方法,Benjamin<sup>[8]</sup>将生态学、经济学和社会学同时连接起来进行对比研究,Sandhu<sup>[9]</sup>、Olalekan<sup>[10]</sup>等分别以澳大利亚和尼泊尔为例,强调生态产生的价值相比比较而言更加环保,应当更加重视。国内学者基于不同省份<sup>[9-11]</sup>、不同水域生态系统<sup>[12-14]</sup>,基于不同方法,如单位面积价值当量因子<sup>[15]</sup>、能值理论<sup>[16]</sup>、多源遥感数据等<sup>[17]</sup>,对国内该领域发展做出了巨大的贡献。评估方法上,基于GIS的土地利用和植被分类方法被过度依赖,多元空间数据利用强度不大。分区县的土

地利用分类表中涉及到的口径不统一,计算生态系统服务价值时,部分学者的研究未明确给出参数修正依据与过程,缺乏一定的科学性,其结果是与发展现状相脱节。关于负面生态系统服务价值(比如建设用地带来的影响)往往被直接忽略。

通过研究不同变量重心变动的关系,能够更好地研究区经济发展与生态服务价值发展的紧密联系,也能够检验出后期改革措施的效果。早期,基于重心模型,Klein<sup>[18]</sup>和Grether等<sup>[19]</sup>研究了世界经济重心的变化,计算了世界经济重心的变动轨迹。国内学者较多侧重于我国古代经济重心南移问题与某一国家经济重心的演变问题<sup>[20]</sup>。近年来,重心耦合的相关理论不断得到改进和创新,陆保一等<sup>[21]</sup>结合中国旅游业、科技创新来研究区域经济发展,并对三者进行了耦合分析。部分学者将人口变化同经济发展结合到一起进行研究,基于ArcGIS<sup>[22]</sup>、重心演变路径<sup>[23]</sup>、特殊的研究区(鄱阳湖生态经济区)<sup>[24]</sup>对人口和经济重心进行时空分析,高军波<sup>[25]</sup>、仲俊涛<sup>[26]</sup>等分别以河南省和宁夏省为例,在人口重心变化的基础上加入了粮食重心作为研究对象。陈莹<sup>[27]</sup>、周艳<sup>[28]</sup>等通过引入土地利用的重心变化,分别研究武汉市、长三角地区经济发展、人口增长同土地利用重心的耦合关系。淳阳等<sup>[29]</sup>以四川省为例,研究新型城镇化与生态足迹重心转移的时空差异及其耦合关系。胡晨沛等<sup>[30]</sup>对中国农业经济重心和禀赋结构重心时空轨迹及其耦合趋势研究。通过梳理重心耦合的相关文献发现,当前研究内容多侧重于经济重心的影响因素,探究生态系统服务价值重心与经济重心的因果关系及其扰动效应的文献较少。

关于三峡库区的相关研究,国洪磊<sup>[31]</sup>、庞敏<sup>[32]</sup>等比较了三峡库区蓄水前后生态服务价值变化;黄磊等<sup>[33]</sup>从经济—社会—环境复合生态系统入手,评估了三者的耦合协调度;贺嘉等<sup>[34]</sup>从同样的角度评估了金沙江流域生态服务价值的时空差异。由于三峡库区本身的复杂性,它既包含了国家重点生态功能区,又包含了成渝双城经济圈重点开发区,部分学者

以库区某个部分<sup>[35-38]</sup>为研究对象来研究三峡库区,结果往往缺乏代表性。系统化将三峡库区经济变量同生态系统服务价值放在一起研究的文献较少。

鉴于此,本文以三峡库区整体为研究对象,运用重心变动的相关理论,从当前迫切需要解决的经济和环境问题出发,按照实际情况对价值当量因子进行部分修正,对三峡库区生态系统服务价值和经济变量重心的时空变化进行研究,为完善库区生态系统服务价值评估体系提供参考,为促进三峡库区乃至整个成渝城市群一体化发展提供理论依据。

## 1 研究区概况

三峡库区位于东经 106°16′—111°28′和北纬 28°56′—31°44′,国土面积达 5.77 万 km<sup>2</sup>。研究区包括湖北省宜昌市所辖的秭归县、兴山县、夷陵区,恩施州所辖的巴东县;重庆市所辖的巫山县、巫溪县、奉节县、云阳县、开县、万州区、忠县、涪陵区、丰都县、武隆县、石柱县、长寿区、渝北区、巴南区、江津区及重庆核心城区(包括渝中区、北碚区、沙坪坝区、南岸区、九龙坡区、大渡口区 and 江北区)共 26 个研究单元。三峡库区地形总体上呈现西低东高,南北高,长江流域狭长地带地势低。库区山高坡陡、坡耕地面积较大。

2018 年,三峡库区常住人口达到 2 108.01 万人,其中重庆段国民生产总值 13 963 亿元,人均地区生产总值 6.81 万元,城镇化率 67.73%,高于全国平均水平的 59.58%。湖北段国民生产总值 939.57 亿元,人均地区生产总值 6.09 万元,城镇化率为 46.21%,低于全国的平均水平。三峡库区地形总体上呈现西低东高,南北高,长江流域狭长地带地势低。库区山高坡陡、坡耕地面积较大。2018 年,三峡库区耕地面积达到 211.37 万 hm<sup>2</sup>,林地与草地面积分别为 285.53 万 hm<sup>2</sup>,63.79 万 hm<sup>2</sup>,水域面积为 10.94 万 hm<sup>2</sup>,建设用为 15.96 万 hm<sup>2</sup>,未利用地面积为 0.09 万 hm<sup>2</sup>。

## 2 方法与数据

### 2.1 数据来源与预处理

本文以 2005 年、2010 年和 2015 年遥感数据为基础,基于 ArcGIS 10.5 得到三峡库区三期土地利用分类数据。经济数据来源于 2006 年、2011 年、2016 年和 2019 年重庆市、宜昌市和恩施市统计年鉴,以及长江上游经济研究中心特色数据库(<https://sanxia.ctbu.edu.cn/index.htm>)。研究参照《土地利用现状分类》(GB/T21010—2007),将三峡库区土地利用类型大致划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 类。

### 2.2 研究理论和方法

2.2.1 重心偏移理论 考察经济指标以及生态系统服务价值指标的重心变动差异。从重心计算和年际重心移动距离两方面考察。

重心计算公式:

$$\begin{cases} x_m = \sum_{k=1}^n M_k X_k / \sum_{k=1}^n M_k \\ y_m = \sum_{k=1}^n M_k Y_k / \sum_{k=1}^n M_k \end{cases} \quad (1)$$

计算基本思路:先取三峡库区  $k(k=1,2,3,\dots,26)$  个子区域的质心坐标  $(X_k, Y_k)$ ,以各地区的属性值  $M_k$  作为权数( $M_k$  在这里分别取各类服务价值和城镇化率、第二产业增加值、人均财政预算支出以及第二产业增加值),加权平均后得到各地区对应属性的区位重心,再以各地区的属性值作为权数,二次计算得到三峡库区各属性值的重心坐标  $(x_m, y_m)$ 。通过观察不同年份各属性的重心位置,判断其偏移方向,具体分为东北、东南、西南和西北。

年际重心移动距离:

$$D_{i-j} = R \times \sqrt{(y_i - y_j)^2 + (x_i - x_j)^2} \quad (2)$$

式中: $D_{i-j}$  为不同年份两个变量的空间移动距离。它既可以指不同经济重心随时间变化的距离,也可以指不同生态系统服务价值重心随时间变化的距离。 $(x_i, y_i)$  和  $(x_j, y_j)$  分别为某种属性第  $i$  年和第  $j$  年的空间坐标。为了将地球表面的坐标单位转化为平面距离, $R$  取 111.11 km。

### 2.2.2 重心耦合分析方法

(1) 空间的重叠性。表示同一年份不同属性重心坐标的相关性。本文由于篇幅限制只考察了总生态系统服务价值重心与 4 种经济重心的关系,用来计算它们的耦合度。重叠性值越小,表示两种属性的联系越紧密,耦合程度越高;反之越低。公式如下:

$$S = R \times \sqrt{(y_m - y_n)^2 + (x_m - x_n)^2} \quad (3)$$

式中: $S$  为生态系统服务价值重心与经济变量重心的重叠性距离; $(x_m, y_m)$  和  $(x_n, y_n)$  为同一年份两种属性的重心坐标。

(2) 变动的一致性。用来表示经济发展对总生态系统服务价值的影响是正相关还是负相关,偏移角度为负值,说明对应的经济因素造成了重心的远离,这是负相关的,反之正相关。公式如下:

$$\cos\theta = \frac{\Delta x_m \Delta x_n + \Delta y_m \Delta y_n}{\sqrt{(\Delta x_m^2 + \Delta y_m^2)(\Delta x_n^2 + \Delta y_n^2)}} \quad (4)$$

式中: $\Delta x_m$  为总生态服务价值不同年份经度差; $\Delta y_m$  为总生态服务价值不同年份的纬度差; $\Delta x_n, \Delta y_n$  为不同经济变量在不同年份的经纬度差值。当  $\cos\theta =$



1 时,表示 2 个重心偏移的方向; $\cos\theta=-1$  时,表示 2 个重心偏移的方向相反。

2.2.3 生态系统服务价值评估方法 生态系统服务价值评估方法多种多样,综合考虑可行性和易得性,基于价值当量法,即利用生态系统面积与单位面积生态系统服务价值相乘来得到生态系统最终服务价值来进行计算。

计算基本思路如下:沿用 Costanza 等<sup>[3]</sup>和谢高地等<sup>[7]</sup>计算标准,得到单位面积生态系统服务价值系数(表 1),首先对价值当量因子进行修正,将不同类型的土地面积乘以对应属性下的单位价值当量,得到不同功能下的价值总量,按照对应的功能进行划分加总,得到不同类型的生态系统服务价值(表 2)。涉及到的公式包括:

$$VC_i=\frac{1}{7}\times m\times p$$
 (5)

$$ESV=VC_i\times X_i$$
 (6)

$$ESV_j=\sum_{i=1}^n(VC_{ij}\times X_i)+\xi\times X_5$$
 (7)

式中: $m$  为三峡库区三年粮食的平均产量; $p$  为粮食平均价格; $1/7$  为没有人力投入的自然生态系统提供的经济价值是现有单位面积农田提供的食物生产经济价值的  $1/7$ ;  $VC_i$  为研究区第  $i$  种地类单位面积的价值量( $i=1,2,\cdots,6$ ),依次代表耕地、林地、草地、水

域、建设用地、未利用地); $X_i$  为第  $i$  种地类的面积; $ESV$  为  $i$  种地类生态服务价值系数; $X_5$  为建设用地面积; $\xi$  取  $-0.537\ 12$  万元/ $\text{hm}^2$ ,表示建设用地产生的负效用<sup>[37]</sup>;  $ESV_j$  为总生态系统服务价值系数。

在计算调节服务(包括气体调节、气候调节、水源涵养、废物处理)、支持服务(包括食物生产、原材料)、供给服务(包括土壤形成与保护、生物多样性保护)和文化服务价值(娱乐文化)时,对建设用地服务价值赋值为 0<sup>[37-38]</sup>。但是,前面提到,由于城镇化率的提高和产业发展等因素,建设用地面积快速增长。这属于人类的经济活动,对环境产生了一定的破坏,导致生态系统功能无法充分发挥,生态服务价值降低,因此在计算总生态系统服务价值时,将建设用地的负效应考虑进去,最终再估算出三峡库区总的生态系统服务价值。

表 1 单位面积生态服务价值当量 元/ $\text{hm}^2$					
项目	耕地	林地	草地	水域	未利用地
气体调节	0.5	3.5	0.8	0	0
气候调节	0.89	2.7	0.9	0.46	0
水源涵养	0.6	3.2	0.8	20.38	0.03
土壤形成与保护	1.46	3.9	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	0.1	0.3	0.1	0.01
原材料	0.1	2.6	0.05	0.01	0
娱乐文化	0.01	1.28	0.04	4.34	0.01

表 2 三峡库区不同生态系统服务价值汇总

分类	作用	耕地	林地	草地	水域	未利用地
调节服务价值	气体调节	460.46	3223.21	736.73	0	0
	气候调节	819.62	2486.47	828.82	423.62	0
	水源涵养	552.55	2946.93	736.73	18768.27	27.63
	废物处理	1510.3	1206.4	1206.4	16742.25	9.21
供给服务价值	土壤形成与保护	1344.54	3591.57	1795.79	9.21	18.42
	生物多样性保护	653.85	3002.19	82.88	2293.08	313.11
支持服务价值	食物生产	920.92	92.09	276.27	92.1	9.21
	原材料	92.1	2394.38	46.04	9.21	0
文化服务价值	娱乐文化	9.21	1178.77	36.84	3996.78	9.21

注:以三峡库区 2005 年、2010 年、2015 年 3 年的粮食平均产量( $4\ 604.58\ \text{kg}/\text{hm}^2$ )以及 2015 年粮食价格( $1.4\ \text{元}/\text{kg}$ )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  $920.92\ \text{元}/\text{hm}^2$ 。

3 结果与分析

3.1 生态系统服务价值重心的偏移特点

根据 2.1,运用 ArcGIS 10.5,得到三峡库区 3 年的土地利用情况。面积从大到小排列依次为林地>耕地>草地>水域>建设用地>未利用地。2005—2010 年,林地面积增加了 2.1%,耕地面积减少了 1.33%,草地面积下降了 14.6%。2010—2015 年,林地面积和耕地面积分别下降了 0.3%,2.14%,草地面积增加了 0.12%。水域面积 2005—2015 年持续增

长,2015 年达到了  $120\ 745.76\ \text{hm}^2$ 。随着城镇化的进程加快,建设用地面积在快速增长,2005—2010 增长速度达到了 94.6%,2010—2015 年,增速放缓,但仍达到 48.96%。未利用地面积从 2005—2010 年减少约  $161\ \text{hm}^2$ ,到了 2015 年,又增加约  $256.73\ \text{hm}^2$ ,近 10 a 总量上是增长的,这说明土地利用过程中存在着闲置荒废的现象。

同时通过计算,得到 5 种服务价值 2005—2010 年、2010—2015 年不同年份对应的重心变化方向 and 变化距离(表 3)。

表 3 2005—2015 年三峡库区生态系统服务价值重心偏移位置及距离

价值	时间段	起始经度/(°)	起始纬度/(°)	终端经度/(°)	终端纬度/(°)	距离/m	方向
总生态服务价值重心	2005—2010	108.86	30.56	108.86	30.56	439.28	东北
	2010—2015	108.86	30.56	108.88	30.57	1482.398	东北
调节服务价值重心	2005—2010	108.82	30.54	108.82	30.54	93.48	西北
	2010—2015	108.82	30.54	108.83	30.55	1059.45	东北
供给服务价值重心	2005—2010	108.89	30.57	108.89	30.57	185.29	东南
	2010—2015	108.89	30.57	108.9	30.58	726.84	东北
支持服务价值重心	2005—2010	108.85	30.56	108.85	30.55	93.96	西南
	2010—2015	108.85	30.55	108.86	30.56	866.93	东北
文化服务价值重心	2005—2010	109.01	30.59	108.99	30.58	2047.59	西南
	2010—2015	108.99	30.58	108.99	30.55	595.67	东北

由表 3 可知,2005—2010 年,供给服务价值重心和文化服务价值重心向西南方向偏移,说明 2005—2010 年三峡库区东北部地区上述两种服务价值相对减少,调节服务价值重心向西北地区偏移,支持服务价值重心向东南地区偏移,说明 2005—2010 年三峡库区南部地区的调节服务价值减少,而北部地区的支持服务价值减少。库区建设完成,开始截流蓄水,水域面积扩大,对于水源涵养、废物处理、生物多样性保护以及娱乐文化产生的价值量比较大,从而进一步影响了调节服务价值、支持服务价值。受到这两种价值的拉动作用,总生态系统服务价值向东北方向平移。2010—2015 年,5 种服务价值重心均向东北地区偏移,三峡库区西南部地区各类服务价值相对减少,此时各类服务价值的协调性相比于前 5 年更强。

2005—2010 年,除文化服务价值重心外,其余服务价值重心偏移距离比较小。2010—2015 年,情况相反,除文化服务价值重心外,其余服务价值重心偏移距离都比较大。前 5 年与后 5 年的偏移距离有一个明显的“跳跃”。这主要是因为库区完全建成前后土地利用类型变化所致。

近 10 a 来,文化服务价值重心偏移距离总和超过了 2 500 m。而主要提供文化服务价值的土地利用类型分别是林地和水域,它们的面积在近 10 a 的变化都比较大。三峡库区建成之后截流蓄水导致了

水域面积持续增长,退耕还林、设置生态保护红线限制了盲目的开发,促进林地面积的增长。

2005—2010 年,调节服务价值、供给服务价值以及支持服务价值重心偏移距离比较小。这个阶段,耕地、草地面积都是下降的,大部分投入到建设用地当中,减少了这两种土地对于生态服务价值的促进作用。虽然水域面积的增大对调节服务价值、供给服务价值有着促进作用,但是当作用力相互抵消之后,这 3 类价值重心的偏移距离也就不大了。这个阶段,三峡库区还未完工,人口分散在各地区,政策不统一,不同地区面临的问题也不一样,对于破坏生态谋求发展也是主要原因。而到了后 5 a,三峡库区完工,造成了大批的人口迁移,使得分散的人力资源更加集中,伴随移民需要解决的生产生活问题,产业发展问题等,对于建设用地的利用更加集中。因此这 3 类服务价值重心的偏移距离有所增大。但是,由于三峡库区东、中、西部地区发展差异大,尤其是中部地区生态环境脆弱,地质灾害频发,从经纬度上来看,虽然偏移距离增加,但是经纬度变化依旧不是很明显。同时,由于这 3 类服务价值的作用,总生态服务价值重心的偏移距离也比较大。

3.2 经济指标重心的偏移特点

同理,得到各经济变量重心(表 4)。运用 ArcGIS 10.5绘制出不同年份经济因子的重心位置(图 1)。

表 4 2005—2015 年三峡库区经济重心偏移位置及距离

经济指标	时间段	起始经度/(°)	起始纬度/(°)	终端经度/(°)	终端纬度/(°)	距离/m	方向
地区生产	2005—2010	107.59	30.07	108.04	30.21	45870.53	东北
总值增长率	2010—2015	108.04	30.21	107.98	30.2	7290.45	西南
城镇化率	2005—2010	107.25	29.87	107.48	29.97	23770.33	东北
	2010—2015	107.48	29.97	107.56	30.01	9048.85	东北
第二产业增加值	2005—2010	107.1	29.81	107.25	29.88	15365.22	东北
	2010—2015	107.25	29.88	107.4	29.94	15717.29	东北
人均财政	2005—2010	107.73	30.07	107.83	30.13	11910.31	东北
预算支出	2010—2015	107.83	30.13	108.21	30.25	38553.27	东北

2005—2010 年,地区 GDP 增长率重心、城镇化率重心、第二产业增加值重心以及人均预算财政支出重心均朝东北方向偏移。偏移距离按照地区 GDP 增长率重心、城镇化率重心、第二产业增加值重心、人均财政预算支出重心依次递减。2007 年,中央提出对重庆的“314”部署,明确把重庆加快建设成为西部地区的重要增长极、长江上游地区的经济中心、城乡统筹发展的直辖市。湖北省 2009 年实施的“两圈一带”战略以及长期推进的“一主两副”战略,2010 年重庆市提出将万州打造成重庆第二大城市,极大地促进了经济的发展。

2010—2015 年,城镇化率重心、第二产业增加值重心以及人均财政预算支出重心继续向东北方向偏移,而地区 GDP 增长率重心向西南方向偏移。除第二产业增加值重心的偏移距离大致保持不变之外,人均财政预算支出重心偏移距离大幅增加,地区 GDP 增长率重心和城镇化率重心偏移距离大幅减少。国务院于 2011 年 5 月通过《三峡后续工作规划》,部署后三峡时期任务,以期全面解决经济、生态等相关问

题,2014 年 7 月国务院批复同意三峡工程建设委员会办公室编制的《全国对口支援三峡库区合作规划(2014—2020 年)》,指明当前三峡库区面临的发展机遇,强调了国家对口三峡库区的政策支持,加快库区产业结构调整 and 转移,承接产业转移,培育特色产业,为库区产业发展带来新的机遇,发挥库区人力资源优势、深化与发达地区的劳务合作。东北部地区进一步承接工业产业转移,大部分地区人均一般财政预算支出增加。但是由于经济发展的不平衡性,西南地区生产总值增长率相比于东北地区,仍然是领先的,也就造成了该类重心向西南偏移。

2005—2010 年,人均一般预算财政支出重心从丰都县移动到忠县,城镇化率重心由长寿区移动到涪陵区,第二产业增加值重心停留在长寿区,GDP 增长率重心从丰都县移动到忠县。2010—2015 年,人均一般预算财政支出重心移动到石柱县,城镇化率重心移动到丰都县,第二产业增加值重心移动至涪陵区,而 GDP 增长率重心向西南方向折返停留在忠县。

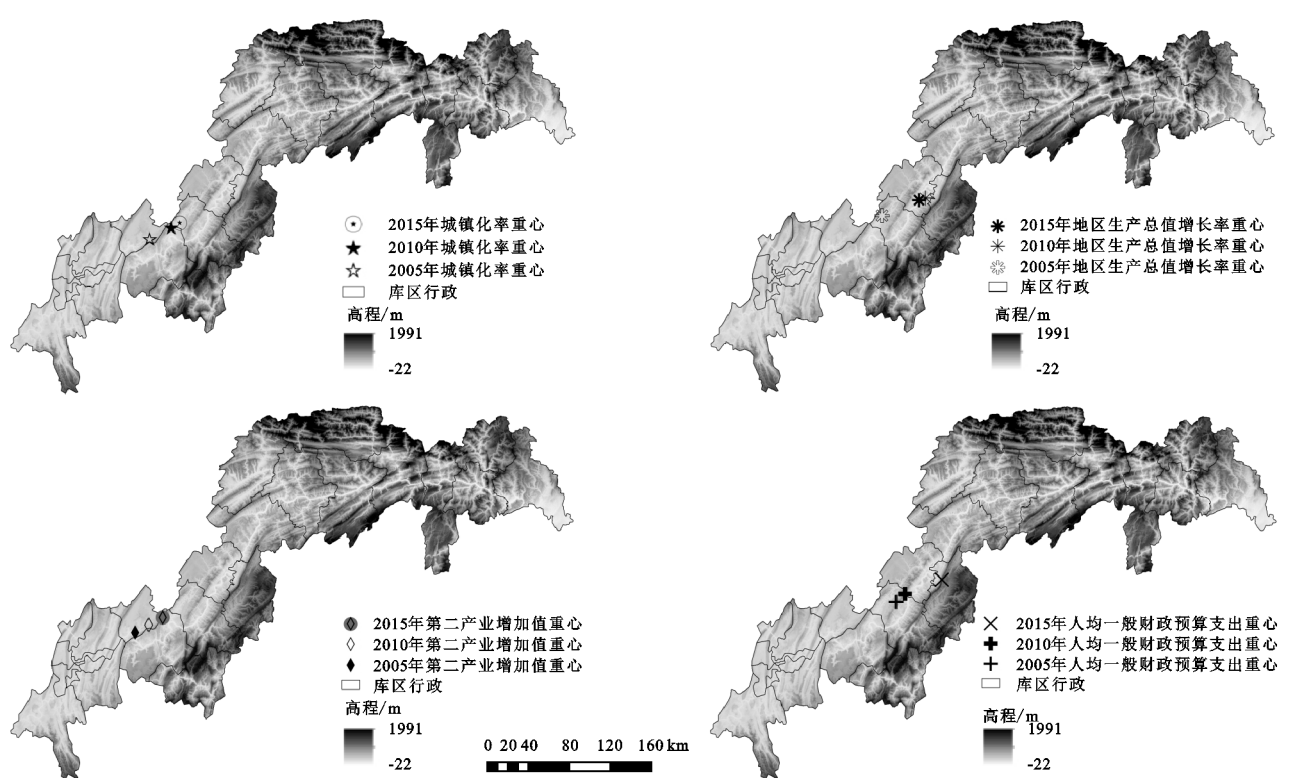


图 1 2005—2015 年不同经济指标重心位置

不同年份所得到的重心位置大致呈现西南—东北分布。2005—2010 年,GDP 增长率重心比第二产业增加值重心朝东北方向偏移的距离更明显,说明其他两类产业对于 GDP 增长率的拉动更强,在一定程度上代表了库腹地区逐渐实现了产业的转型和改造。并且,城镇化率重心与第二产业增加值重心整体迁移方向一致,表明三峡库区在该时期内经济的集聚产生

了相应的人口集聚。人均一般预算财政支出重心的偏移程度又明显比第二产业增加值重心更靠东北,说明在这个时期内,财政支出的重点并非在第二产业,投资更加合理化。人均财政支出重心距离 GDP 增长率重心比较近,财政支出的增加,对于经济增长的贡献比较明显。

同样,2010—2015 年,这样的趋势仍在保持。不



同之处在于,GDP 增长率重心出现折返的情况,这与其他 3 类重心的变动方向是不一致的。这说明单纯增加财政支出已不能迅速拉动经济增长。自 2011 年以来,库区第二产业比重在缓慢下降,而第三产业比重则在缓慢上升,库区正在经历产业结构升级,但第二产业仍占据主导地位,因此,伴随着经济发展,生态环境破坏问题逐渐显露,造成的各项损失也逐渐增

加,对经济造成了反向拉动作用,说明以牺牲环境为代价的发展是不长久的。

3.3 重心变动的耦合性和一致性分析

3.3.1 重心变动的耦合性 根据公式(3),计算出不同经济因子同生态系统服务价值的耦合性。本文只讨论总生态系统服务价值重心与不同经济指标重心的关系,结果见表 5。

表 5 2005—2015 年生态系统服务价值和经济重心偏移的重叠性及一致性

年份	项目	总服务价值与地区 生产总值增长率	总服务价值与 城镇化率	总服务价值与 第二产业增加值	总服务价值与 人均财政预算支出
2005	重叠性/m	150.80	193.91	211.72	136.39
	一致性	—	—	—	—
2010	重叠性/m	98.93	167.47	194.85	124.46
	一致性	1	1	1	1
2015	重叠性/m	108.14	158.92	178.84	82.02
	一致性	—1	1	1	1

注:“—”表示 2005 是初始期,不做一致性比较。

观察表 5,与其他重叠性相比较,总生态系统服务价值在 2005 年与人均财政预算支出的重叠性最高,其次是地区生产总值增长率,而与城镇化率和第二产业增加值的重叠性相对比较弱。到了 2010 年,基本情况保持不变,但此时与地区生产总值增长率的重叠性增强,与人均财政预算支出的重叠性减弱,到了 2015 年,又变成相反情况。总体而言,除了地区生产总值增长率与总生态系统服务价值的重叠性呈现先增强后减弱的趋势之外,其余三者则呈现逐年增加的趋势。

一定程度上也是破坏环境的重要因素。随着城镇化率的逐步提高,这种耦合偏离的情况一直是存在,并且重叠值始终是比较大的。

经济增长在初期是以牺牲环境为代价的,这也就是为何在初期,GDP 增长率重心同总生态系统服务价值重心重叠值比较大,耦合性比较低。此时,地方财政支出的重点在于经济发展,而非生态保护,加上三峡库区自身生态比较脆弱,受到的破坏程度比较高,此时人均财政支出重心同总生态系统服务价值重心出现了较大偏离。

3.3.2 重心变动的一致性 参照公式(4),计算不同经济因子重心同总生态系统服务价值重心的变动一致性(表 5)。从结果来看,2005—2015 年各类经济指标与总生态系统服务价值重心变动方向几乎一致,呈水平方向。这说明近 10 a 来,经济发展与生态环境存在紧密联系,经济发展一定程度上改变了生态结构与地区各类生态系统服务价值。

(2) 2010—2015 年,库首地区开始进行产业升级,推进了工业化进程,但是重点仍旧是传统制造业,同样造成了环境的破坏,使得二者重心偏移距离明显。随着三峡工程收尾,吸引了一部分企业入驻,增加了财政投入,人类活动的增加影响了环境,一方面拉动了经济增长,提高了生活质量,使得土地利用渐趋多元化,基础设施建设更加完善。另一方面,建设用地增长迅速,包括居住地、工业用地增加,对于环境产生的负效应越来越明显。

3.3.3 耦合性与一致性分析

(1) 由表 5 可知,总生态系统服务价值同不同经济指标相互影响。2005—2010 年,总生态系统服务价值同第二产业增加值的重叠性比较低。2005 年人均工业废水发排放量大约为 30.6 t,人均工业化需要量大约为 4.1 kg,而人均工业氨氮排放量大约为 0.3 t,环境污染比较严重,对环境的影响比较显著,也就造成了两者偏移距离比较大,耦合度比较小。

(3) 随着生态文明建设观念深入人心,国家大力倡导绿色协调可持续发展模式,可以观察到,近 10 年来,城镇化率、第二产业增加值、人均财政预算支出同总生态系统服务价值的耦合性是增强的,说明一系列的环境保护措施是显著有效的。但是由于三峡库区是一个狭长的地理单元,各区域的资源、产业、区位禀赋各异,不同地区所采取的措施是不尽相同的,对经济和环境造成的影响也是不一样的。库尾地区的

同样的,库区城镇化率耦合性也比较弱,主要是因为城镇人口的增长导致城镇污水排放量增加,这在

经济更为发达,工业基础雄厚,人才集中,因而城镇化发展水平较高。但其发展是以牺牲环境为代价获得的。库首地区多为山地丘陵区且距离中心城市较远,山地面积占比较高、地形复杂、生态较为脆弱,同样也是牺牲环境换取经济快速增长。库腹地区虽环境较好,但是经济发展比较落后,主要受自然条件的限制,工农业基础薄弱。因此,表5中重心偏移距离的变化虽然表明经济和环境耦合性在增强,但是每5a的变化程度不是很大。

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

当前,三峡库区不同地区所处的发展水平参差不齐。库腹地区比较脆弱,可供耕作用地比较少,政府早期在制订开发展措施的同时,造成了生态环境破坏。而近年来,库腹地区承接库尾产业转移,但主要集中在第二产业,实地调研发现,类似重庆市长寿区这样的工业区,在承接产业转移的同时,造成了比较严重的环境污染。但是考虑到经济发展的内在要求,对于库区地区的产业改造并不意味着放弃现有产业,政府和企业应当制定和自觉遵守生态保护条例,减少因发展经济对环境的破坏。库首属于湖北辖区,经济发展状况也比较复杂。夷陵区相比较库首其他4个地区,经济发展水平比较高,可以一部分承接库腹地区的人才转移,为库腹提供生态服务的地区腾出空间。其他3个地区,经济发展相对落后,传统制造业发展会造成其环境污染,可以因地制宜,发展生态旅游业,实现产业升级。

本研究采用的生态服务价值单价以及粮食单价是基于前人的研究,由于学科的限制,在处理中不可避免地存在一定误差。对不同生态系统进行赋值并绘图,能够更为直观地观察不同时期生态系统服务价值、经济重心的偏移方向和偏移距离。通过引入重心变动轨迹,目测未来发展的重点地区,为下一步研究展开提供依据。对总生态服务价值和经济变量进行耦合分析,能够更为直观地发现其相互影响机制,突出环境保护与经济发展的重点影响因素。文章在计算耦合一致性关系时未能精确到区县,无法更加细致地考量地区间差异。在对经济发展进行评价时,指标体系的选取应当更加客观,构建更为全面的复合指标体系来研究三峡库区。

### 4.2 结论

(1) 2005—2010年,供给服务价值、文化服务价

值重心向西南偏移,调节服务价值重心向西北偏移,支持服务价值重心向东南偏移,总生态服务价值向东北平移。除文化服务价值重心外,其余服务价值重心偏移距离比较小。2010—2015年,5种服务价值重心均向东北地区偏移。除文化服务价值重心外,其余服务价值重心偏移距离都比较大。

(2) 不同经济变量存在相关性。城镇化率重心与第二产业增加值重心偏移方向一致。第二产业增加值重心与GDP增长率重心在不同年份距离比较远。短时间内,投入支出的增加有利于经济增长,但是到了长期,经济发展需更加注重整体性。

(3) 2005—2010年,生态环境与经济耦合性较弱。城镇化率的提高导致了城镇人口的增加,城市环境污染压力随之增大,造成的库区环境污染比较严重。

(4) 2010—2015年,生态环境与经济耦合性增强。经济发展更加注重科学合理,人均工业污染物排放量下降,土地利用逐渐合理。但是由于研究区比较特殊,对于不同地区经济发展,暂时无法更好地形成统一,空间异质性依然比较显著。

### 参考文献:

- [1] King R T. Wildlife and man[J]. NY Conservationist, 1966, 20 (6): 8-11.
- [2] 李丽,王心源,骆磊,等.生态系统服务价值评估方法综述[J].生态学杂志, 2018, 37(4): 1233-1245.
- [3] 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(6630): 253-260.
- [4] James B, Spencer B. What are ecosystem services: The need for standardized environmental accounting units [J]. Ecological Economics, 2007, 62(2/3): 616-626.
- [5] 欧阳志云,王如松,赵景柱.生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J].应用生态学报, 1999, 10(5): 635-640.
- [6] 欧阳志云,王如松.生态系统服务功能、生态价值与可持续发展[J].世界科技研究与发展, 2000, 22(5): 45-50.
- [7] 谢高地,鲁春霞,成升魁.全球生态系统服务价值评估研究进展[J].资源科学, 2001, 23(6): 5-9.
- [8] Benjamin B. Ecosystem services-Bridging ecology, economy and social sciences [J]. Ecological Complexity, 2010, 7(3): 257-259.
- [9] Sandhu H, Crossman N, Smith F P. Ecosystem services and Australian agricultural enterprises[J]. Ecological Economics, 2012, 74: 19-26.
- [10] Olalekan A, Gordon M, Alan G. Inequality and ecosystem services: The value and social distribution of Niger Delta wetland services[J]. Ecosystem Services,



- 2015,12:42-54.
- [9] 宋振威,孙美莹,杨荣金,等.宁夏贺兰山东麓葡萄产业生态系统服务功能价值评估[J].应用生态学报,2019,30(3):979-985.
- [10] 赵苗苗,赵海凤,李仁强,等.青海省1998—2012年草地生态系统服务功能价值评估[J].自然资源学报,2017,32(3):418-433.
- [11] 张艳军,官冬杰,翟俊,等.重庆市生态系统服务功能价值时空变化研究[J].环境科学学报,2017,37(3):1169-1177.
- [12] 江波,陈媛媛,肖洋,等.白洋淀湿地生态系统最终服务价值评估[J].生态学报,2017,37(8):2497-2505.
- [13] 张丽云,江波,肖洋,等.洞庭湖生态系统最终服务价值评估[J].湿地科学与管理,2016,12(1):21-25.
- [14] 赵晟,李梦娜,吴常文.舟山海域生态系统服务能值价值评估[J].生态学报,2015,35(3):678-685.
- [15] 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.
- [16] 王玲,何青.基于能值理论的生态系统价值研究综述[J].生态经济,2015,31(4):133-136.
- [17] 许旭,郜昂,朱萍萍,等.基于多源遥感数据的生态系统服务价值评估:以河北省为例[J].国土资源遥感,2013,25(4):180-186.
- [18] Klein L R. Measurement of a shift in the world's center of economic gravity[J]. Journal of Policy Modeling, 2009,31(4):489-492.
- [19] Grether J M, Mathys N A. Is the world's economic centre of gravity already in Asia[J]. General & Introductory Geography, 2010,42(1):47-50.
- [20] 涂建军,刘莉,张跃,等.1996—2015年我国经济重心的时空演变轨迹:基于291个地级市数据[J].经济地理,2018,38(2):18-26.
- [21] 陆保一,明庆忠,郭向阳,等.中国旅游业—科技创新—区域经济的耦合态势及其预测分析[J].地理与地理信息科学,2020,36(2):126-134.
- [22] 于小娟,张红日,李哲.基于GIS的人口与经济的时空耦合研究[J].测绘与空间地理信息,2019,42(8):66-68.
- [23] 李豫新,赵东栋.人口重心与经济重心演变路径及耦合性分析[J].统计与决策,2016(4):139-143.
- [24] 钟业喜,陆玉麒.鄱阳湖生态经济区人口与经济空间耦合研究[J].经济地理,2011,31(2):195-200.
- [25] 高军波,谢文全,韩勇,等.1990—2013年河南省县域人口、经济和粮食生产重心的迁移轨迹与耦合特征:兼议与社会剥夺的关系[J].地理科学,2018,38(6):919-926.
- [26] 仲俊涛,米文宝,候景伟,等.改革开放以来宁夏区域差异与空间格局研究:基于人口、经济和粮食重心的演变特征及耦合关系[J].经济地理,2014,34(5):14-20,47.
- [27] 陈莹,胡梦可,方勇.武汉市土地利用程度和经济发展的重心迁移及耦合协调性研究[J].长江流域资源与环境,2017,26(8):1131-1140.
- [28] 周艳,黄贤金,徐国良,等.长三角城市土地扩张与人口增长耦合态势及其驱动机制[J].地理研究,2016,35(2):313-324.
- [29] 淳阳,朱晚秋,潘洪义,等.重心转移视角下新型城镇化与生态足迹时空差异及其耦合关系研究:以四川省为例[J].长江流域资源与环境,2018,27(2):306-317.
- [30] 胡晨沛,李辉尚.1978—2015年中国农业经济重心和禀赋结构重心时空轨迹及其耦合趋势研究[J].华中农业大学学报:社会科学版,2019(2):91-99,167.
- [31] 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.
- [32] 庞敏,周启刚,马泽忠,等.三峡库区蓄水前后土地利用与经济发展协调度[J].水土保持研究,2020,27(1):66-72,80.
- [33] 黄磊,吴传清,文传浩.三峡库区环境—经济—社会复合生态系统耦合协调发展研究[J].西部论坛,2017,27(4):83-92.
- [34] 贺嘉,许芯萍,张雅文,等.流域“环境—经济—社会”复合系统耦合协调时空分异研究:以金沙江为例[J].生态经济,2019,35(6):131-138.
- [35] 张艳军,官冬杰,翟俊,等.重庆市生态系统服务功能价值时空变化研究[J].环境科学学报,2017,37(3):1169-1177.
- [36] 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.
- [37] 张杨,马泽忠,陈丹.基于生态格局视角的三峡库区土地生态系统服务价值[J].水土保持研究,2019,26(5):321-327.
- [38] 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.