

DOI: 10.5846/stxb201808261825

翟天林,王静,金志丰,祁元.长江经济带生态系统服务供需格局变化与关联性分析.生态学报,2019,39(15): - .

Zhai T L, Wang J, Jin Z F, Qi Y. Change and correlation analysis of the supply-demand pattern of ecosystem services in the Yangtze River Economic Belt. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(15): - .

长江经济带生态系统服务供需格局变化与关联性分析

翟天林¹, 王 静^{1,*}, 金志丰¹, 祁 元²

1 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉 430079

2 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000

摘要:生态系统服务持续供给是人类社会可持续发展的重要基础。随着社会经济发展和人类生活品质的提高,综合考虑生态系统服务供给与人类需求,并纳入自然资源管理实践对我国生态文明建设至关重要。然而,目前的研究大多集中于生态系统服务供给研究,针对跨区域尺度的生态系统服务供需研究仍较薄弱。以我国跨区域的长江经济带为例,采用生态系统服务供给指数(ESPI)和土地开发指数(LDI),定量测度了生态系统服务的供给和需求,构建了生态系统服务供需指数(ESSDI),分析了长江经济带生态系统服务供需格局的时空变化规律及其区域特征,并利用皮尔逊相关系数和回归分析方法,定量探究了长江经济带生态系统服务供需格局的关联性及其区域差异。研究结果表明:(1)2015年长江经济带的生态系统服务供需格局区域差异明显,总体上呈现西部盈余东部超载的供需格局,其中生态系统服务供需格局状况较好和状况好的区域面积比例较高,占长江经济带总面积的69.45%。(2)长江经济带生态系统服务供需格局空间失衡现象较为突出,长江经济带55.36%的GDP和31.41%的人口均集中在7%生态系统服务供需状况差的区域。2000—2015年期间,长江经济带实施了系列生态保护与修复工程,生态系统服务供需状况趋向变好,生态系统服务供需状况好的县域增加了43个,供需状况差的县域减少了58个;长江经济带上游和中游地区生态系统服务供需状况比下游地区提升幅度大。(3)长江经济带生态系统服务供给和需求整体上呈现负相关。生态系统服务的供需关系存在区域差异。在经济快速增长和土地集约开发的下游地区,生态系统服务供需负相关关系斜率较大。随着ESPI的变化,下游LDI的变化幅度大于欠发达的上游和中游地区。研究结果可为长江经济带生态系统管理和政策制定提供参考。

关键词:生态系统服务供给与需求;长江经济带;时空变化;供需关联性

Change and correlation analysis of the supply-demand pattern of ecosystem services in the Yangtze River Economic Belt

ZHAI Tianlin¹, WANG Jing^{1,*}, JIN Zhifeng¹, QI Yuan²

1 School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2 Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

Abstract: The continuous ecosystem services supply is an important foundation of the sustainable development of human society. With the development of the economy and the improvement in human life quality, a comprehensive consideration of the ecosystem service supply and human demand, and integrating them into natural resource management practices are vitally important to the China's ecological civilization construction. However, most of the current studies focused on the supply of ecosystem services, and few studies did on the supply and demand of ecosystem services across regional scales. Taking the cross-regional Yangtze River Economic Belt as an example, the ecosystem services provision index (ESPI) and the land development index (LDI) were used to quantify the supply and demand of ecosystem services, and the ecosystem

基金项目:国家自然科学基金(41330750,41871203)

收稿日期:2018-08-26; 网络出版日期:2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wjing0162@126.com

service supply and demand index (ESSDI) was proposed to analyze the spatiotemporal variation patterns and regional characteristics of the ecosystem service supply-demand pattern in the Yangtze River Economic Belt. The Pearson correlation coefficient and regression analysis method were used to quantify and explore the correlation and regional differences in ecosystem service supply-demand patterns in the Yangtze River Economic Belt. The results showed that: (1) there was a significant difference of ecosystem services supply-demand pattern in the Yangtze River Economic Belt in 2015, which was overloaded in the east and surplus in the west. The proportion of areas was the highest where the supply-demand patterns was better or best, accounting for 69.45% of the total area of the Yangtze River Economic Belt. (2) The spatial imbalance of the ecosystem services supply-demand pattern in the Yangtze River Economic Belt was obvious. 55.36% of the GDP and 31.41% of the population were concentrated in 7% of the areas where the ecosystem services supply-demand pattern was bad. A series of ecological protection and restoration projects in the Yangtze River Economic Belt were implemented during 2000—2015, which made the ecosystem services supply-demand pattern become better. The number of counties with a good supply-demand pattern increased by 43, meanwhile, the number of counties with a bad supply-demand pattern decreased by 58. Compared with the lower reaches of the Yangtze River Economic Belt, the supply-demand pattern of ecosystem services in the upper and middle reaches was greatly improved. (3) The supply and demand of ecosystem services in the Yangtze River Economic Belt were negatively correlated. There were regional differences in the supply and demand relationship of ecosystem services. In the lower reaches where there was rapid economic growth and intensive land development, the slope of negative correlation between supply and demand of ecosystem services was larger. With the change of ESPI, the magnitude of variability of LDI was greater in the lower reaches than that in the underdeveloped upper and middle reaches. These results can provide references for ecosystem management and policy formulation in the Yangtze River Economic Belt.

Key Words: ecosystem services supply and demand; Yangtze River Economic Belt; spatiotemporal change; correlation between supply and demand

近百年来,世界经济高速发展,随着人类活动对自然生态系统的影响日益加剧,全球范围内 60% 以上的生态系统服务功能出现退化,其主要原因之一是对生态系统服务功能缺乏有效管理^[1]。如何实现生态系统科学管理,维持生物圈良好结构、功能和经济社会可持续发展,已成为当前国际上科学研究的热点和前沿^[2-4]。

生态系统服务是生态系统管理研究的重要内容^[5]。目前,有关生态系统服务研究已在生态系统服务类型分类、生态系统服务形成与影响机制、生态系统服务价值评估、生态系统服务空间制图与尺度转换、生态系统服务与人类社会福利的关系,以及生态系统服务与生物多样性相互作用关系等方面取得了诸多重要研究成果^[6-8]。现阶段生态系统服务的研究更加强调以人类为中心的思想,重视生态系统服务对于人类福祉的影响。离开人类受益者,生态系统的结构和过程无法形成生态系统服务。TEEB 报告指出,利益主体的经济活动对生态系统服务产生了巨大的需求,并导致生态系统服务状态发生改变^[9]。如果仅考虑生态系统服务的供给,忽视人类对生态系统服务的需求,将无法实现系统的生态系统管理。生态系统服务供给和需求关系研究已经成为生态系统服务研究的一个重要方向^[10]。生态系统服务供给和需求关系的研究方法多采用模型计算法^[11-12]、问卷调查法^[13]、专家经验法^[14]、生态足迹法^[15]等;生态系统服务供需研究主要针对单项功能的需求进行研究^[11,16-17];并且研究的尺度多为中小尺度,如城市^[18]、流域^[19]等,大尺度研究相对偏少;研究的时间尺度多静态的快照式研究^[12],忽视了生态系统服务供需的复杂性、动态性以及非线性相关性,对生态系统服务供需在地理位置上的分布规律、关联度和聚集性的研究相对较少,难以揭示生态系统服务供需的空间特征。生态系统服务供需的研究内容主要集中于对自然资源的消耗^[14],对生态系统服务供给和需求的耦合研究还较少。上述研究所使用数据多采用遥感解译数据^[14],较少研究使用翔实的土地调查数据。上述研究为生态系统服务供需研究提供了坚实基础,但生态系统服务受自然生态系统和社会经济系统中多种非线

性因素的影响,生态系统服务供需变化研究仍是生态系统管理领域亟待解决的热点和难点。

长江经济带作为新时期国家区域发展三大战略之一,受到中央和地方政府的高度重视。长江经济带的生态系统可持续管理,对长江经济带“生态优先、绿色发展”战略目标实现意义重大。近些年来长江经济带生态环境正面临着严峻的挑战^[20],随着城市化进程不断加快,沿线城市过度追求经济指标的快速增长,忽视了生态容量的有限性和环境承载力的脆弱性,出现了水质恶化、生物多样性减少、乡村衰退、土地利用多功能性受损、河湖面积萎缩等一系列不可忽视的问题。并且,全国八大生态脆弱区中半数分布在长江经济带范围内。综合考虑长江经济带生态系统服务供给与人类需求,定量测度生态系统服务的供给和需求,开展长江经济带生态系统服务供需格局时空变化及供需关联性定量分析,为长江经济带生态系统管理和政策制定提供参考,纳入长江经济带自然资源管理实践,对长江经济带生态文明战略实施尤为紧迫。

本文在借鉴已有研究成果的基础上,尝试以生态系统服务供需关系为切入点,构建生态系统服务供需指数,定量测度生态系统服务供给和需求耦合关系。并以长江经济带为例,利用全国土地调查数据,从县域尺度开展生态系统服务供需格局时空变化及关联性定量分析,为区域生态系统管理、资源的合理有效配置和政策制定提供科学依据和决策支持,也可为生态系统服务供需关系研究提供参考。

1 研究区概况

长江经济带地跨中国中、东、西三大区域,包括上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、重庆、四川、云南、贵州等 11 省市,总面积约 205 万 km²,是世界上人口最多、产业规模最大、城市体系最为完整的流域经济带,也是中国国土空间开发最重要的东西轴线,位置如图 1 所示。该区域包含 1 个世界级城市群(长三角城市群)、2 个国家级城市群(长江中游城市群和成渝城市群)和 3 个地区性城市群(江淮城市群、滇中城市群和黔中城市群)^[21]。截至 2017 年,长江经济带 11 省市经济总量占全国总量的 43.7%,人口占全国总人口的 42.86%,是中国经济重心所在、活力所在。

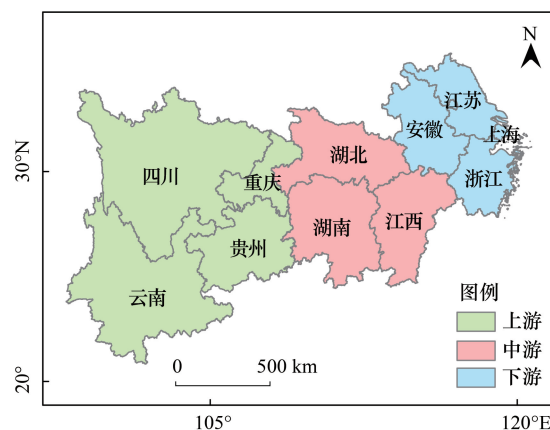


图 1 研究区位置

Fig.1 Location of the study area

2 研究材料与方法

2.1 数据来源

长江经济带土地利用数据来源于原国土资源部 2000 年、2005 年、2015 年全国土地利用年度变更数据,2009 年来源于全国土地利用现状调查。该数据是以县级行政单位搜集整理的,能够比遥感影像解译提供更详尽、更权威的信息。其中,建设用地指的包括居民点、交通用地及工矿用地。生态系统服务供给计算所需数据包括气候、地形等 6 大类,降水、温度、高程、土壤类型等 16 小类数据,此处不具体列出,具体可见参考文献^[22]。生态系统服务需求计算所需的 GDP 和人口等数据来源于全国县市统计年鉴。此外,县级行政单位是我国行政管理的完整基层单位,县级行政单位的土地资源可持续利用与生态系统管理对区域可持续发展至关重要。考虑到数据的完整性和可获取性,本研究选择县级行政单位作为长江经济带生态系统服务供需分析的基本空间单元。同时,对因行政区划调整所涉区域进行归并处理,保持研究数据时序完整性。

2.2 研究方法

2.2.1 生态系统服务供给计算

王静等^[23]选择当前最具影响的 MA 生态系统服务分类体系作为主体,基于文献分析和案例研究,选取中国不同生态区生态系统服务的主导类型和与生态系统服务影响相关的评价因子,利用综合指数,通过量化中

国不同类型生态系统服务,建立生态系统服务供给指数(Ecosystem services provision index, ESPI)。ESPI 是根据自然地理条件和土地利用类别的分布,与生态系统提供的生态产品和服务相结合而建立的。通过综合供给服务、调节服务、支持服务 3 大类别和食品生产、原料生产、基因资源、氧气生产等 13 个子类别生态系统服务的气候因子、地形因子、土壤因子、水文水资源、生物因子、社会经济因子等 6 大类 16 小项评估因子,计算单位面积的 ESPI。本研究利用 2009 年土地利用类型分布和 ESPI 分布情况,对长江经济带各县土地利用类型单位面积 ESPI 进行计算分析。基于此,计算 2000、2005 和 2015 年生态系统服务供给。

2.2.2 生态系统服务需求计算

目前,国内外学者对生态系统服务需求理解各不相同^[14,24-26]。在参考相关研究的基础上,本文生态系统服务需求被定义为人类对生态系统商品和服务的生产和消费的需求量和偏好。它实际上代表了土地开发的强度或人类活动的干扰程度。这里借鉴彭建等^[27]人的研究成果,利用建设用地比例、经济密度、人口密度来表征生态系统服务需求,构建土地开发指数(Land development index, LDI)。建设用地比例越高,说明人类对某地区土地开发强度越大,人类对于生态系统服务需求也越高。人口密度越大,相应的对生态系统服务的需求也越大。经济密度反映了某地区富裕程度,根据马斯洛需求层次论,生产力越发展,社会越发达,对生态系统服务需求越多。长江经济带东部和西部地区人口密度和经济密度差异显著,在不影响整体分布趋势的前提下,采用取对数方法,消除指标波动。

$$LDI = D_i \times \lg(P_i) \times \lg(E_i)$$

式中,LDI 代表土地开发指数, D_i 代表建设用地比例, P_i 代表人口密度, E_i 代表经济密度。

2.2.3 生态系统服务供需指数构建

基于上述研究,引入生态系统服务供需指数(Ecosystem Services Supply and Demand Index, ESSDI)来衡量区域生态系统供需状况。ESSDI 是指区域生态系统服务供给和生态系统服务需求之间的比值,实现了生态系统服务供给和需求耦合。

$$ESSDI = \frac{ESPI}{LDI}$$

利用《2016 年中国环境状况公报》中全国县域生态环境质量分布示意图,同时以国家生态文明建设示范市县、国家园林县城(表 1)结果作为补充,将长江经济带中国园林县城、国家生态文明建设示范市县作为生态供需状况好的地区样本,将《2016 年中国环境状况公报》中生态环境质量差的区域作为生态供需状况差的地区样本。通过统计分析,得到样本 ESSDI 均值,利用环保部《生态保护红线划定技术指南》中分位数(Quantile)划分方法结果,结合专家意见,将 ESSDI 分为 5 级,建立 ESSDI 分级标准,见表 2。

2.3 生态系统服务供需关联性分析

本研究利用最常用的皮尔逊相关系数和一元线性回归分析来研究生态系统服务供需的关联性。相关性分析能够揭示生态系统服务供需之间是否存在相关关系,确定相关关系的表现形式以及现象变量间相关关系的密切程度和方向。通过回归分析,能够确定生态系统服务供给和生态系统服务需求间相互依赖的定量关系。

3 结果与分析

3.1 生态系统服务供给和需求空间分异

根据研究方法分别求得研究区 ESPI 和 LDI 的结果。生态系统服务供给结果与谢高地^[28]等的成果相近,研究区 ESPI 高值区主要集中在贵州、湖北西部、云南南部、江西西部、湖南西部等地,低值区主要集中在四川盆地、长三角、长江中下游平原等地,如图 2 所示。LDI 高值区主要集中在四川盆地、长三角、长江中下游平原等地,LDI 低值区主要集中在研究区中西部,如图 3 所示。分析其原因,各地区的人口、气候、经济发展水平等原因是造成 ESPI 和 LDI 空间分布不平衡的主要因素。ESPI 高值区人口较少,经济水平相对较低,人类活动

对生态环境破坏较少,同时气候多为亚热带季风气候,降水充足,植被覆盖度较高,能够提供较多的生态系统服务。LDI 高值区人口密度大,经济发达,人类活动频繁,对生态系统服务需求较高。

表 1 长江经济带选取的县市			
Table 1 Counties and cities selected in the Yangtze River Economic Belt			
	国家生态文明建设示范市县 Demonstration cities and counties of national ecological civilization construction	国家园林县城 National Garden County	2016 年中国环境状况公报 China environmental state bulletin in 2016
江西省	靖安县	德安县	
	资溪县	分宜县	
	婺源县	峡江县	
		奉新县	
四川省		上高县	
	蒲江县	郫县	武侯区
		北川县	
贵州省	观山湖区		
	汇川区		
云南省	西双版纳		
	石林县	腾冲县	
浙江省	湖州市	淳安县	北仑区
	临安区	新昌县	
	象山县	开化县	
	新昌县	玉环县	
	浦江县		
江苏省	苏州市	泗阳县	京口区
	无锡市		栖霞区
	江宁区		玄武区
	姜堰区		建邺区
	金湖县		鼓楼区
湖北省	京山县	远安县	
		公安县	
湖南省	江华县	平江县	
		汝城县	
重庆市		丰都县	
		忠县	
		巫溪县	
		秀山县	
安徽省			瑶海区
			包河区
			庐阳区
上海市			宝山区

表 2 生态系统服务供需指数(ESSDI)分级标准			
Table 2 Ecosystem Service Supply and Demand Index (ESSDI) grading standards			
供需状况 Supply and demand situation	ESSDI	供需状况 Supply and demand situation	ESSDI
差 Worst	ESSDI<1	较好 Better	17≤ESSDI<68
较差 Worse	1≤ESSDI<4	好 Best	ESSDI>68
一般 Medium	4≤ESSDI<17		

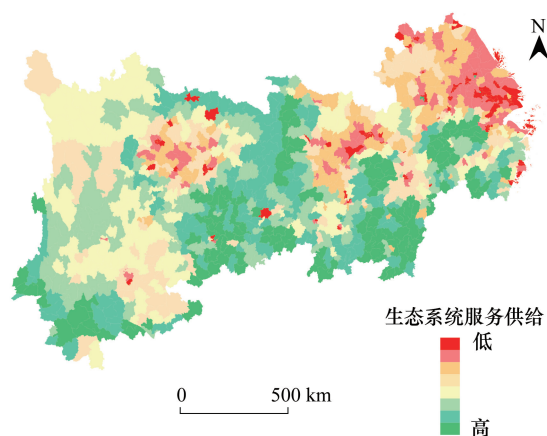


图2 长江经济带 2015 年生态系统服务供给

Fig.2 Ecosystem service supply in the Yangtze River Economic Belt in 2015

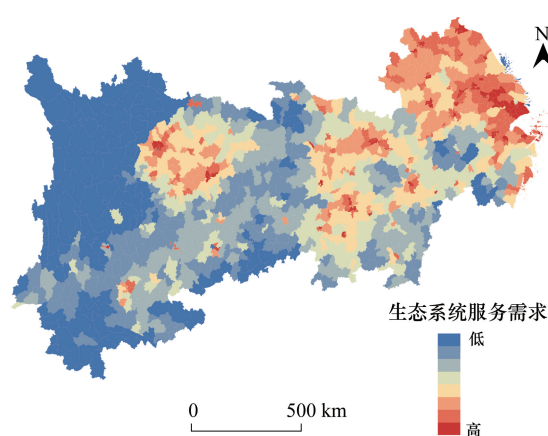


图3 长江经济带 2015 年生态系统服务需求

Fig.3 Ecosystem services demand in the Yangtze River Economic Belt in 2015

3.2 生态系统服务供需格局及变化分析

分析 2015 年长江经济带的生态系统服务供需格局,结果表明区域差异明显,总体上呈现西部盈余东部超载的供需格局,如图 4 所示。其中,生态系统服务供需状况好的地区主要位于横断山脉、云贵高原西部和南部、神农架林区、武陵山脉、大巴山脉、天目山脉等地,面积占长江经济带总面积 36.96%。这些地区地形多为山地地形,是长江经济带重要的生态屏障,人口密度很低,受人类活动影响小,对生态系统服务的需求也少。同时气候多为亚热带季风气候,雨热同期,有利于各类植物的生长,能够提供更多的生态系统服务。这些地区今后应注重维护已有自然生态系统的完整性,严格控制人类经济活动,加强对天然草地,湿地水源和生物多样性集中区的保护,制止导致生态功能持续恶化的一切人为破坏活动。

生态系统服务供需状况较好的地区分布在云贵高原东部和东南丘陵等地,面积占长江经济带总面积 32.49%。这些地区四季分明,降水充沛,植被覆盖度水平处在比较高的水平。但该地区人口密度比生态系统服务供需状况好的地区大,同时丘陵地区种植业发达,人类活动影响相对较大,引起水土流失等生态问题,在一定程度上影响了生态系统服务的供给。

生态系统服务供需状况一般的地区主要位于四川盆地和长江中下游各省份,面积占长江经济带总面积的 23.58%,同时拥有 5 类状况中最多的 GDP 和人口。这些地区农业发达,其中的四川盆地是中国最大的水稻、油菜籽产区,长江中下游平原是中国重要的粮、油、棉生产基地,人类活动对生态系统的影响较大,造成了一系列的生态环境问题,如水体污染、土壤侵蚀、湖泊萎缩等,严重影响生态系统服务供给。这些地区今后应重视耕地资源的生态属性管理,改变粗放的生产经营方式,控制农药和化肥的使用,停止不合理的人类活动。

生态系统服务供需状况较差和差的地区主要集中在成渝城市群、长江中游城市群和长江三角洲城市群。三大城市群经济发达,人类活动最为频繁,生态系统服务需求也最大。由于该地区林地、草地等生态用地类型面积很少,提供的生态系统服务较其他地区偏少,呈现明显的生态超载现象。通过统计分析,生态系统服务供需状况较差和差土地面积的仅占长江经济带 7%,却承载着该地区 55.36% 的 GDP, 31.41% 的人口(表 3)。长江经济带生态系统服务供需格局空间失衡现象较为突出。这些地区多处在较发达的地区,随着经济的发展,势必会有更多的人口迁入其中,导致生态环境状况进一步恶化,严重阻碍城市所具有的社会、经济和环境功能的正常发挥。城市是人类文明的产物,生态系统的好坏决定着人类福祉。因此,在进行决策时,一定要妥善协调好生态环境保护与城市发展之间的关系,加强城市环境综合治理,合理利用土地,构建城市绿色基础设施网络,严格控制建设用地增量,并有必要将生态系统服务供需状况作为决策制定和实施的重要依据。

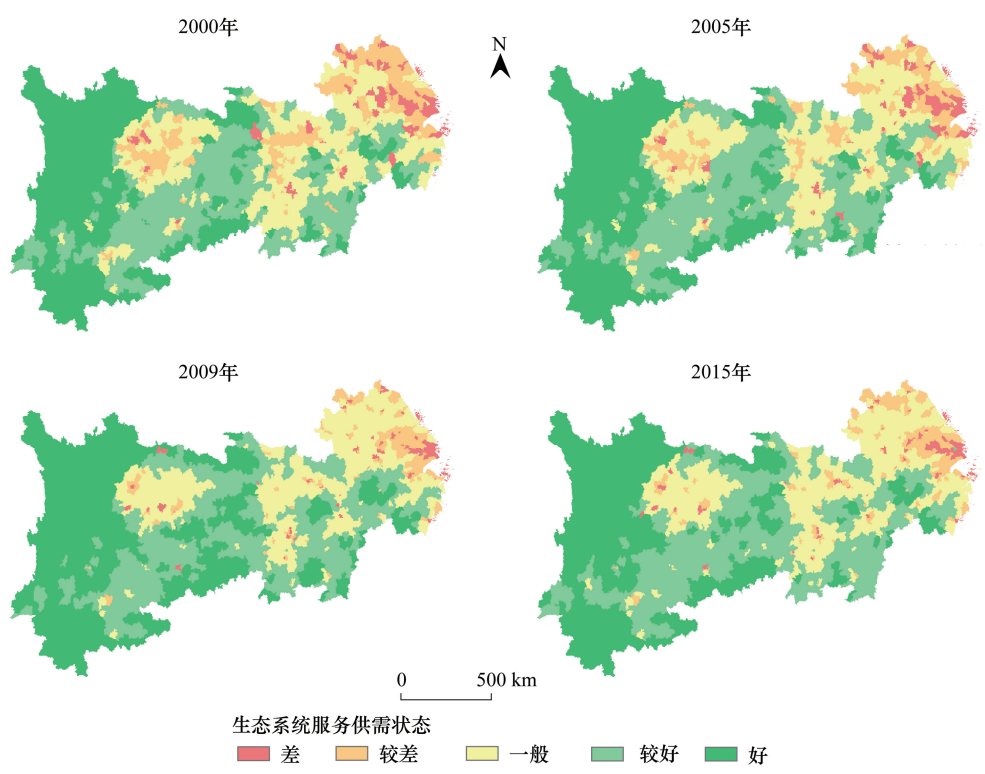


图 4 长江经济带 2000、2005、2009、2015 年生态系统服务供需格局

Fig.4 Supply-demand pattern of ecosystem services in the Yangtze River Economic Belt in 2000, 2005, 2009 and 2015

表 3 2015 年生态系统服务供需格局评价结果

Table 3 Evaluation results of ecosystem service supply-demand pattern in 2015

生态系统服务供需状况 Situation of ecosystem services supply and demand	人口 Population/%	GDP GDP/%	面积 Area/%
差 Worst	13.76	28.86	1.49
较差 Worse	17.65	26.50	5.49
一般 Medium	37.03	29.00	23.58
较好 Better	23.91	12.39	32.49
好 Best	7.65	3.25	36.96

研究中同时对 2000、2005、2009 年的 ESSDI 进行了计算,并分析不同年份生态系统服务供需状况变化,结果见图 4。从图 4 中可以看出,2000—2015 年间,生态系统服务供需格局没有大的变化,依然呈现西部好,东部差的格局。作为长江经济带重要的生态屏障和水源涵养地,四川在上世纪末率先启动天然林资源保护工程和退耕还林工程,并先后开展了自然保护区及森林公园、防沙治沙、湿地保护恢复、川西藏区生态保护与建设等重点生态工程建设,森林覆盖率由 1998 年的 24.23% 上升到 2018 年的 38.03%,每年流入长江的泥沙量减少 3 亿吨,较 1998 年以前减少了近八成,自然生态环境得到有效保护^[29-30]。重庆市通过实施长江防护林体系建设工程、长江上游水土保持、“绿化长江”等多项生态修复工程,三峡库区 NPP 总体呈上升趋势,各项工程取得了较好效果^[31]。长江中游的湖北、湖南、江西等省不断加强天然林保护、退耕还林和湖泊湿地恢复与保护的力度,以岸线绿化为重点,构建绿色生态廊道。同时实施平原绿化、华中林业生态屏障、三峡库区和丹江口库区森林生态、沿江防护林、碳汇林业示范等重点工程建设,生态环境状况逐渐好转。从图 4 中可以明显看出,随着时间的推移,四川盆地、长江中游地区呈现明显的好转,四川盆地中的南中、德阳、内江、资阳、自贡、眉山等市,长江中游的荆州、孝感、仙桃、岳阳等市的生态系统服务供需状况由差和较差转变为一般。长江下游的安徽、浙江、江苏等省通过完善生态防护林体系,实施水环境综合治理工程,加大自然湿地保护力度,开展矿山地

质环境治理与矿山复绿工作,实施陆生野生动植物保护工程,生态退化趋势得到遏制。皖北、苏北、长三角生态系统服务供需状况也大幅度好转,淮安、盐城、合肥、芜湖、阜阳、连云港等城市差和较差的县域数目明显减少。

但研究同时发现,2009—2015 年间,云南西部、江西南部、湖南南部等地均有多地生态供需格局出现一些负面变化,由好转为较好,这与中国退耕还林计划停滞有关^[32]。为保障国家粮食安全,中国暂停了大规模的退耕还林计划,导致这些地区的植被恢复和生态环境改善受到一定的负面影响。加之 2009 年全球金融危机爆发,中国“四万亿刺激计划”投资资金主要流向房地产、设备制造、钢铁、有色金属、水泥等饱和行业。在保障经济高速增长同时,造成了过剩的产能和大量的投资浪费,透支了增长因素和环境的承载力^[33]。从图 4 中可以看出,长三角和苏北地区生态系统服务供需状况差和较差的县域个数又有所增加,生态系统服务供需状况又有所恶化。但从整体上看,长江经济带生态系统服务供需状况还是朝趋向变好的,根据统计,2000—2015 年间,长江经济带 11 省市林地增加了约 500 万 hm^2 ,滩涂沼泽增加约 13 万 hm^2 ,河流湖泊面积增加约 3.5 万 hm^2 ,生态系统服务供需状况好和差的县域数目分别增加和减少了 43 和 58 个(图 5)。

3.3 生态系统服务供给及需求关联性分析

由于长江经济带各省市自然本底和社会经济特征差异较大,为了更好的研究各区域生态系统服务供给和需求的关系,本研究将长江经济带划为上游、中游、下游三部分。其中上游包括云南、四川、贵州、重庆四省市;中游包括湖南、湖北、江西三省;下游包括江苏、浙江、上海、安徽四省市^[34]。

相关分析目的是通过分析变量之间变化趋势的互动关系,推断一个变量对另一个变量的影响程度,相关分析结果利用相关系数和显著性程度表示^[35]。本文采用相关分析中最常用的皮尔逊相关系数来分析 2000 和 2015 年生态系统服务供给对生态系统服务需求的影响程度。从表 4 中能够看出,2000 和 2015 年长江经济带生态系统服务供给和需求相关性分析结果均通过相关显著性检验,不同年份的相关性结果均呈现显著的负相关,这表明随着生态系统服务供给增大,而生态系统服务需求减小,反之亦然。就不同地区来看,长江经济带上游相关性最小,中游和下游相关性更大。这主要是由于长江中下游地区人口稠密,经济相对更发达,但生态系统服务供给较上游地区相对偏少,对生态系统服务的需求更加强烈。从不同时间来看,随着时间的推移,生态系统服务供给和需求相关性大大增强。这和中国经济快速增长具有很大关系。有多项研究表明,中国不同地区的不同年份生态系统服务供给状况各不相同,但总体呈现比较稳定的状态^[36-38]。长江经济带 GDP 从 2000 年的 4 万亿元增加到 2015 年的 30.5 万亿,经济总量增加 7 倍。在经济发展过程中,不可避免的要消耗生态系统提供的各类服务。

研究同时利用一元线性回归来分析不同年份生态系统服务供给和需求之间相互关系。通过表 5 可知,所有回归结果均通过显著性检验。从图 6 中可以看出,长江经济带不同地区,不同年份,生态系统服务供给和需求均呈现负相关,高生态系统服务需求的地区由于经济快速发展,土地集约利用造成地区生态系统服务供给功能降低。这与相关性分析结果一致。同时,研究还发现,生态系统服务的供需关系存在区域差异。分析不同地区拟合直线斜率,长江上游和中游斜率值小于下游地区。这表明,随着 ESPI 的变化,下游的 LDI 的变化要大于上游和中游。这主要是由于不同地区的生态供需本底差异造成的。分析图 6 可知长江经济带上游、中

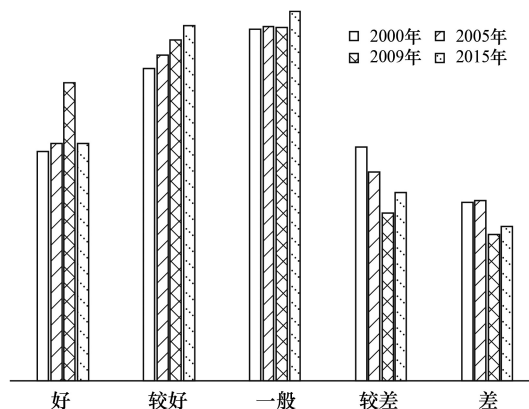


图 5 2000—2015 年长江经济带生态系统服务供需格局县域个数变化

Fig.5 Changes in the number of counties in the supply-demand pattern of ecosystem services in the Yangtze River Economic Belt from 2000 to 2015

游多为“供给多-需求少”类型的县区,长江下游多为“供给少-需求多”类型的县区。在发达地区,人类对生态系统服务的过度利用和滥用正在导致自然资源的储量、生态系统服务的供给能力都在急剧下降,而生态服务的消费总量却在急剧攀升。其中,土地开发是生态系统服务供给减少的关键因素^[39]。类似的结果表明,在中国城市化进程中,城市发展和人类活动的干扰导致了发达地区自然生态系统生物生产功能和植被的减少,以及中国不可替代的生态产品和服务的丧失^[40]。2000年到2015年,长江经济带生态状况有所改善,分析拟合直线能够观察到各地区不同年份的直线截距值均有所上升,斜率均有所增大,其中长江经济带上游和中游生态系统服务供需状况提升程度较下游地区更大,这和退耕还林还草工程主要分布在中西部地区有较大关联^[41-42]。

表 4 长江经济带 2000 和 2015 年生态系统服务供给和需求相关性分析

		上游 Upstream		中游 Midstream		下游 Downstream	
		需求 2000	供给 2015	需求 2000	供给 2015	需求 2000	供给 2015
供给 2000	皮尔逊相关性	-0.372 **		-0.493 **		-0.646 **	
Supply in 2000	Sig.(双尾)	0.000		0.000		0.000	
需求 2015	皮尔逊相关性		-0.683 **		-0.809 **		-0.753 **
Demand in 2015	Sig.(双尾)		0.000		0.000		0.000

* *.在 0.01 级别(双尾),相关性显著

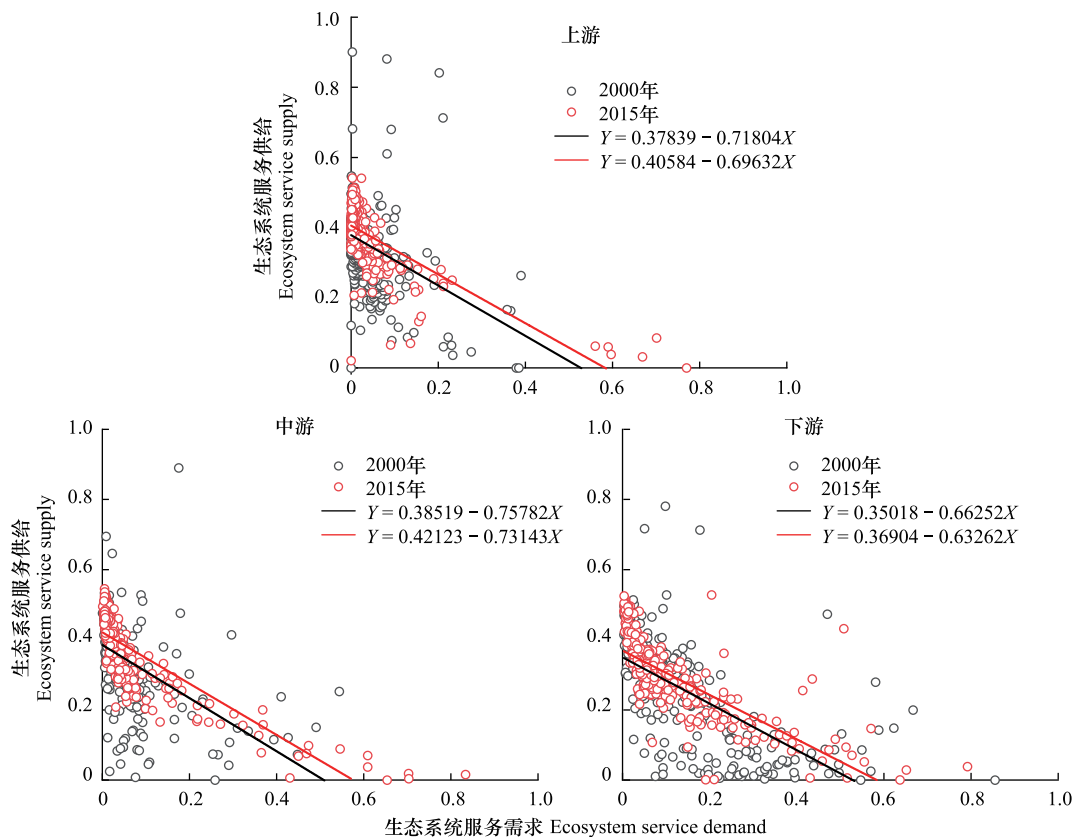


图 6 2000 和 2015 年生态系统服务供给和需求回归分析结果

Fig.6 Results of regression analysis of ecosystem services supply and demand in 2000 and 2015

4 结论与讨论

长江生态系统保护和环境治理是长江生态文明先行示范带建设的核心,而长江全流域综合生态系统实施

健康管理,更是推进长江经济带发展的又一关键^[43]。本研究采用生态系统服务供给指数和土地开发指数,定量测度了生态系统服务供给和需求,构建了生态系统服务供需指数。同时利用全国土地调查数据,从县域尺度开展了长江经济带生态系统服务供需格局时空变化及关联性定量分析,得出了一些与以往研究不同的结论,这对长江经济带实现生态系统管理是有价值的补充。

表 5 模型摘要和参数估算值

Table 5 Model Summary and Parameter Estimates

地区 Region	模型摘要 Model Summary			参数估算值 Parameter Estimates	
	R^2	F	显著性	常量	b1
上游 2000 Upstream 2000	0.138	68.153	0.000	0.378	-0.718
上游 2015 Upstream 2015	0.467	371.287	0.000	0.406	-0.696
中游 2000 Midstream 2000	0.243	97.602	0.000	0.385	-0.758
中游 2015 Midstream 2015	0.655	576.866	0.000	0.421	-0.731
下游 2000 Downstream 2000	0.418	206.57	0.000	0.35	-0.663
下游 2015 Downstream 2015	0.567	377.189	0.000	0.369	-0.633

研究结果表明:(1)2015 年长江经济带生态系统服务供需格局差异明显,生态系统服务供需状况好的地区主要分布在植被覆盖度高、人类活动影响少的地区;生态系统服务供需状况一般的地区主要集中农业生产区;生态系统服务供需状况差的地区与长江经济带大城市或城市群分布有很好的吻合性;总体呈现明显的西部盈余东部超载的供需格局。其中,生态系统服务供需状况好和较好的面积最大,占长江经济带总面积的 69.45%,其次是一般和差。(2)生态系统服务供需状况差的地区以长江经济带 7%的土地,承载该地区 55.36%的 GDP,31.41%的人口,长江经济带生态系统服务供需格局空间失衡现象较为突出。(3)2000—2015 年间,长江经济带实施了系列生态保护与修复工程,生态系统服务供需状况趋向好转。退耕还林计划停滞和“四万亿刺激计划”虽在一定程度上对生态系统供需状况有一定的负面影响,但好转趋势不变,生态系统服务供需状况好的县域增加了 43 个,供需状况差的县域减少了 58 个,长江经济带上游和中游地区生态系统服务供需状况比下游地区提升幅度大。(4)长江经济带生态系统服务供给和需求整体上呈现负相关,但生态系统服务的供需关系存在区域差异。发达的下游地区,生态系统服务供需负相关关系斜率较大,随着 ESPI 的变化,下游的 LDI 的变化幅度大于欠发达的上游和中游地区。

最后,需要指出本文存在的一些问题:受限于数据的可获取性,本文仅采用人口密度、经济密度和建设用地比例来表征生态系统服务需求,选取的指标较少,可能无法全面的衡量生态系统服务需求;同时生态系统服务供需状况受自然地理和社会经济等多因素影响,不同地区之间存在较大差异,未来可在小范围内应采用问卷调查或抽样调查等方法,提高分析精度。同时,生态系统服务供需的空间不平衡会在一定程度上导致一系列环境正义问题,例如东部地区与西部地区在获取资源利益与承担环保责任上的不对等,城市污染不断地向农村转移的现象等。今后的研究中将会把社会和环境不公平维度纳入生态系统服务供需失衡分析中,探讨如何解决好环境利益与环境负担的分配问题。

参考文献 (References):

- [1] 郑华, 李屹峰, 欧阳志云, 罗跃初. 生态系统服务功能管理研究进展. 生态学报, 2013, 33(3): 702-710.
- [2] 张玲玲, 巩杰, 张影. 基于文献计量分析的生态系统服务研究现状及热点. 生态学报, 2016, 36(18): 5967-5977.
- [3] 李文华, 张彪, 谢高地. 中国生态系统服务研究的回顾与展望. 自然资源学报, 2009, 24(1): 1-10.
- [4] 严岩, 朱捷缘, 吴钢, 詹云军. 生态系统服务需求、供给和消费研究进展. 生态学报, 2017, 37(8): 2489-2496.
- [5] 戴尔阜, 王晓莉, 朱建佳, 高江波. 生态系统服务权衡/协同研究进展与趋势展望. 地球科学进展, 2015, 30(11): 1250-1259.
- [6] 李双成, 刘金龙, 张才玉, 赵志强. 生态系统服务研究动态及地理学研究范式. 地理学报, 2011, 66(12): 1618-1630.
- [7] 张立伟, 傅伯杰. 生态系统服务制图研究进展. 生态学报, 2014, 34(2): 316-325.
- [8] 马琳, 刘浩, 彭建, 吴健生. 生态系统服务供给和需求研究进展. 地理学报, 2017, 72(7): 1277-1289.
- [9] Kumar P. The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations. London, Washington, DC: Earthscan, 2010.

- [10] 彭建, 胡晓旭, 赵明月, 刘焱序, 田璐. 生态系统服务权衡研究进展: 从认知到决策. 地理学报, 2017, 72(6): 960-973.
- [11] Nedkov S, Burkhard B. Flood regulating ecosystem services—mapping supply and demand, in the Etropole municipality, Bulgaria. *Ecological Indicators*, 2012, 21: 67-79.
- [12] Baró F, Haase D, Gómez-Baggethun E, Frantzeskaki N. Mismatches between ecosystem services supply and demand in urban areas: A quantitative assessment in five European cities. *Ecological Indicators*, 2015, 55: 146-158.
- [13] Peña L, Casado-Arzuaga I, Onaindia M. Mapping recreation supply and demand using an ecological and a social evaluation approach. *Ecosystem Services*, 2015, 13: 108-118.
- [14] Burkhard B, Kroll F, Nedkov S, Müller F. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators*, 2012, 21: 17-29.
- [15] 谢高地, 曹淑艳, 鲁春霞, 肖玉, 章予舒. 中国的生态服务消费与生态债务研究. 自然资源学报, 2010, 25(1): 43-51.
- [16] Schulp C J E, Lautenbach S, Verburg P H. Quantifying and mapping ecosystem services: demand and supply of pollination in the European Union. *Ecological Indicators*, 2014, 36: 131-141.
- [17] Palomo I, Martín-López B, Potschin M, Haines-Young R, Montes C. National Parks, buffer zones and surrounding lands: mapping ecosystem service flows. *Ecosystem Services*, 2013, 4: 104-116.
- [18] Larondelle N, Lauf S. Balancing demand and supply of multiple urban ecosystem services on different spatial scales. *Ecosystem Services*, 2016, 22: 18-31.
- [19] Boithias L, Acuña V, Vergoñós L, Ziv G, Marcé R, Sabater S. Assessment of the water supply: demand ratios in a Mediterranean basin under different global change scenarios and mitigation alternatives. *Science of the Total Environment*, 2014, 470: 567-577.
- [20] 陈雯, 孙伟, 吴加伟, 陈诚, 闫东升. 长江经济带开发与保护空间格局构建及其分析路径. 地理科学进展, 2015, 34(11): 1388-1397.
- [21] 方创琳, 周成虎, 王振波. 长江经济带城市群可持续发展战略问题与分级梯度发展重点. 地理科学进展, 2015, 34(11): 1398-1408.
- [22] 王静. 土地生态管护研究范式及其应用. 北京: 地质出版社, 2015.
- [23] Wang J, Lin Y F, Zhai T L, He T, Qi Y, Jin Z F, Cai Y M. The role of human activity in decreasing ecologically sound land use in China. *Land Degradation & Development*, 2018, 29(3): 446-460.
- [24] Schröter M, Barton D N, Remme R P, Hein L. Accounting for capacity and flow of ecosystem services: a conceptual model and a case study for Telemark, Norway. *Ecological Indicators*, 2014, 36: 539-551.
- [25] Villamagna A M, Angermeier P L, Bennett E M. Capacity, pressure, demand, and flow: a conceptual framework for analyzing ecosystem service provision and delivery. *Ecological Complexity*, 2013, 15: 114-121.
- [26] Geijzendorffer I R, Martín-López B, Roche P K. Improving the identification of mismatches in ecosystem services assessments. *Ecological Indicators*, 2015, 52: 320-331.
- [27] 彭建, 杨旸, 谢盼, 刘焱序. 基于生态系统服务供需的广东省绿地生态网络建设分区. 生态学报, 2017, 37(13): 4562-4572.
- [28] 谢高地, 张彩霞, 张昌顺, 肖玉, 鲁春霞. 中国生态系统服务的价值. 资源科学, 2015, 37(9): 1740-1746.
- [29] 樊敏, 李富程, 郭亚琳, 王青. 退耕还林对岷江上游高山聚落区生态服务价值变化的影响. 山地学报, 2016, 34(3): 356-365.
- [30] 陶蕴之, 吕一河, 李凤全, 胡健, 张琨, 李婷, 任艳姣. 西南天然林保护工程区生态成效评估. 生态与农村环境学报, 2016, 32(5): 716-723.
- [31] Xu X B, Tan Y, Yang G S, Li H P, Su W Z. Impacts of China's Three Gorges Dam Project on net primary productivity in the reservoir area. *Science of the Total Environment*, 2011, 409(22): 4656-4662.
- [32] 李国平, 石涵予. 退耕还林生态补偿与县域经济增长的关系分析——基于拉姆塞-卡斯-库普曼宏观增长模型. 资源科学, 2017, 39(9): 1712-1724.
- [33] 陆大道. 中速增长: 中国经济的可持续发展. 地理科学, 2015, 35(10): 1207-1219.
- [34] 金贵, 邓祥征, 赵晓东, 郭柏枢, 杨俊. 2005—2014 年长江经济带城市土地利用效率时空格局特征. 地理学报, 2018, 73(7): 1242-1252.
- [35] 王磊, 蔡运龙. 人口密度的空间降尺度分析与模拟——以贵州猫跳河流域为例. 地理科学进展, 2011, 30(5): 635-640.
- [36] 石垚, 王如松, 黄锦楼, 阳文锐. 中国陆地生态系统服务功能的时空变化分析. 科学通报, 2012, 57(9): 720-731.
- [37] 严恩萍, 林辉, 王广兴, 夏朝宗. 1990—2011 年三峡库区生态系统服务价值演变及驱动力. 生态学报, 2014, 34(20): 5962-5973.
- [38] 程建, 程久苗, 吴九兴, 徐玉婷. 2000—2010 年长江流域土地利用变化与生态系统服务功能变化. 长江流域资源与环境, 2017, 26(6): 894-901.
- [39] 赵亚莉, 刘友兆, 龙开胜. 城市土地开发强度变化的生态环境效应. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(7): 23-29.
- [40] Wang J, He T, Lin Y F. Changes in ecological, agricultural, and urban land space in 1984-2012 in China: land policies and regional social-economical drivers. *Habitat International*, 2018, 71: 1-13.
- [41] 邓友维. 西部地区退耕还林对农户经济影响的实证研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2014.
- [42] Wang J, Lin Y F, Glendinning A, Xu Y Q. Land-use changes and land policies evolution in China's urbanization processes. *Land Use Policy*, 2018, 75: 375-387.
- [43] 邓玲, 李凡. 如何从生态文明破题长江经济带——长江生态文明建设示范带的实现路径和方法. 人民论坛·学术前沿, 2016, (1): 52-59.