

DOI: 10.5846/stxb202105261371

朱佩娟, 王学栋, 谢雨欣, 文宁, 张伟娜. 基于主体功能区划的湖南省生态系统服务供需关系演变. 生态学报, 2023, 43(15): 6182-6193.

Zhu P J, Wang X D, Xie Y X, Wen N, Zhang W N. Evolution of supply and demand relationship of ecosystem services in Hu'nan Province based on main function zoning. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(15): 6182-6193.

基于主体功能区划的湖南省生态系统服务供需关系演变

朱佩娟^{1,2,*}, 王学栋¹, 谢雨欣¹, 文宁³, 张伟娜³

1 湖南师范大学地理科学学院, 长沙 410081

2 湖南师范大学地理空间大数据挖掘与应用湖南省重点实验室, 长沙 410081

3 湖南省国土资源规划院, 长沙 410007

摘要: 生态系统服务供需关系研究是自然资源开发和生态环境保护空间差异化管控的重要依据, 基于主体功能区划视角的研究对构建生态安全格局、促进区域经济可持续发展具有重要意义。以湖南省各县域为研究单元构建湖南省生态系统服务供需评估指数, 运用 ESSD 系数、局部空间自相关等方法, 将湖南省主体功能区划实施前(2006—2011 年) 和实施后(2012—2017 年) 两个时间段作对比, 分析生态系统服务供需关系的时空变化及空间相关性特征。研究结果表明: (1) 主体功能区划政策对湖南省有效保护生态系统, 稳定供需关系产生积极导向作用。(2) 湖南省生态系统服务供需系数存在显著的空间异质性, 始终呈现西高东低的空间分布特征。各类功能区的生态系统服务供需关系存在较大差异, 重要开发区主要表现为供不应求, 重要生态功能区主要表现为供过于求, 农产品主产区主要表现为供需均衡。(3) 湖南省生态系统服务供需关系空间负相关性增强, 生态系统服务供需空间平衡性差异加剧。

关键词: 主体功能区; 生态系统服务; 供需系数; 湖南

Evolution of supply and demand relationship of ecosystem services in Hu'nan Province based on main function zoning

ZHU Peijuan^{1,2,*}, WANG Xuedong¹, XIE Yuxin¹, WEN Ning³, ZHANG Weina³

1 College of Geographic Science, Hu'nan Normal University, Changsha 410081, China

2 Hu'nan Key Laboratory of Land Resources Evaluation and Utilization, Hu'nan Normal University, Changsha 410081, China

3 Hu'nan Land and Resources Planning Institute, Changsha 410007, China

Abstract: Study of ecosystem service supply and demand is an important basis for spatially differentiated control of natural resource development and ecological environmental protection. Research based on the perspective of main function zoning is of great significance for constructing ecological security patterns and promoting sustainable development of regional economy. Taking each county in Hu'nan Province as the research unit, we constructed an Ecosystem service supply and demand coefficient (ESSD). Then, we used the ESSD and the local indicators of spatial association (LISA) to compare two time periods before (2006—2011) and after (2012—2017) the implementation of the main function zoning in Hu'nan Province, aiming to analyze the spatial and temporal variability and spatial correlation characteristics of the supply and demand of ecosystem services. The results showed that: (1) the main function zoning policy had positive guiding effect on protecting the ecosystem and stabilizing the relationship between supply and demand in Hu'nan Province. (2) The ESSD in Hu'nan Province had significantly spatial heterogeneity, showing the spatial distribution characteristics of high in the west

基金项目: 国家自然科学基金项目(42171202); 2019 年度湖南省重点领域研发计划项目(2019SK2101); 湖南省自然资源科技计划项目(2021-43)

收稿日期: 2021-05-26; 采用日期: 2022-12-02

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mrs-zhu@163.com

and low in the east. There were large differences in the supply and demand of ecosystem services in various functional zones, with key development zones, key ecological functional zones and agricultural production zones mainly showing under-supply, oversupply and balanced supply and demand, respectively. (3) The negatively spatial correlation between supply and demand of ecosystem services in Hu'nan Province had increased, and the difference in spatial equilibrium had intensified.

Key Words: main function area; ecosystem services; supply and demand coefficient; Hu'nan Province

生态系统服务是人类直接或间接从生态系统中获得的各种惠益,主要分为供给服务、调节服务、文化服务和支持服务四种类型^[1-2],从生态系统服务生产与使用的角度可以分为生态系统服务供给和需求两个方面,正确认识生态系统服务供需关系有助于提升区域福祉^[3]。生态系统服务供需关系研究是自然资源开发和生态环境保护空间差异化管控的重要依据,可为生态保护与管理、国土空间规划等提供科学依据,对生态安全格局构建、区域经济可持续发展具有重要的支撑作用^[4]。

生态系统服务供需理论与案例研究源于欧美国家,国内起步较晚,仍处于起步阶段^[5-6]。研究前期主要侧重于生态系统服务的供给视角,伴随着更加关注生态系统服务对人类福祉的影响,生态系统服务供需研究成果日益增多,已成为生态系统服务研究领域的重要方向^[5,7]。当前有关生态系统服务供需关系的研究主要集中于三个方面:一是生态系统服务供需理论研究,集聚在生态系统服务供需评估理论^[5,7]、形成机制与成本效应^[8-9]、供需制图表现^[10]等方面;二是包括全球^[11]、国家^[12]、城市群^[13-15]等不同尺度的生态系统服务供需关系的时空特征研究^[16-19];三是生态系统服务供需研究在生态管理的现实启示方面,集中于生态修复空间分区管理^[20]、农业生态管理分区^[3]、生态补偿方法制定^[21-22]、城市绿地规划管理^[23]等方面;研究方法多元,包括参与法^[24]、价值法^[25-26]、经验统计模型法^[27-28]和生态模型法^[29]等。总体而言,系统研究生态系统服务供需空间关系对国土空间开发利用具有重要价值,但已有研究多以单一年份或宏观区域作为评估对象,较少以多时段和小尺度为基础结合省域主体功能区划特征对生态系统服务供需空间关系的时空变化进行探讨^[30]。

湖南省处于全国 3 条易灾带的中部地带^[31],特殊的地理区位决定了其生态环境的敏感性与脆弱性。区域经济社会的快速发展,土地开发利用程度加剧,生态空间与资源环境的侵占加剧,导致生态系统服务功能被损害和削弱的风险加大对实现可持续发展形成挑战^[32-33]。2012 年《湖南省主体功能区划》以县级行政区为基本单元,将全省 122 个县市区划分为重点开发区域、农产品主产区和重点生态功能区三类区域,为推进形成人口、经济和资源环境相协调,城市空间、农业空间和生态空间相适应的国土空间开发格局奠定了基础。鉴于此,研究湖南省国土空间生态系统服务供需空间关系在 2006—2011 与 2012—2017 年段的时空变化及相关性特征,对增强生态系统服务研究对现实的解释力、丰富生态系统服务相关研究,助力国家主体功能从省域到市县降尺度传导具有重要意义。本研究以供给、调节、文化和支持四类生态系统服务供需特点为切入点,以湖南省为研究区,基于主体功能区框架,构建生态系统服务供需指标,主要运用价值评估法测算生态系统服务供需量;运用生态系统服务供需系数(ESSD)评判生态系统服务供需协调性;运用双变量空间自相关模型法分析和探讨生态系统服务供需空间相关性,为区域可持续发展提供决策参考。

1 研究区概况

湖南省地处中国中部,长江中游腹地,地势呈三面环山、朝北开口的马蹄形地貌;全省主要的自然生态系统类型为森林和湿地生态系统,在全球范围内具有很高的典型性和代表性。现下辖 13 个地级市和 1 个自治州,省域国土空间面积为 21.18 万 km²。根据《湖南省统计年鉴》,2017 年末常住人口为 6860.15 万人,比 2006 年增加了 518.15 万人,城镇化率由 44.34% 增加到 54.62%;2017 年国内生产总值为 82097.65 亿元,较 2006 年增加 528.16 亿元;有林地面积由 2006 年的 1036.99 万 hm² 萎缩至 2012 年的 1029.58 万 hm²,2017 年又增长至 1110.85 万 hm²。

表 1 生态系统服务供需指标及其计算方式

Table 1 Supply and demand indicators of ecosystem services and their calculation methods

生态系统服务类型 Ecosystem service type	供需指标 Supply and demand indicators	计算公式 Calculation formula	指数解释 Explanation of the index	指标选取依据 Indicator selection basis
供应服务 Supply services	食物供给 (供)	$S_i^{FS} = I_i$	S_i^{FS} : i 区供应服务供给量 I_i : i 区粮食产量	食物供给是生态系统最基础的供给服务之一,它对人类的生存和发展具有不可或缺的作用,掌握粮食供应与需求的空间分布特征,对保障粮食安全具有重要意义 ^[34] 。
	食物需求 (需)	$D_i^{FD} = POP_i \times A$	D_i^{FD} : i 区供应服务需求量 POP_i : i 区常住人口数 A : 人均食品消费量	
调节服务 Regulation services	固碳吸收 (供)	$S_i^{CA} = 1.63 R_c A_i B_y + A_i F_s$	S_i^{CA} : i 区调节服务供应量 R_c : CO ₂ 中碳的含量 A_i : i 区的林地面积 B_y : 植物年净生产力 F_s : 单位面积植被的年固碳量	气候和水文调节最重要的调节服务之一,湖南省地处长江中游,水网发达,水资源丰富,气候调控对湖南省的影响更为重要,其中固碳能力对于气候调节十分重要,因此选择固碳吸收代表生态调节服务供给,选择占据重要地位的工业能源碳排放量来表征调节服务需求。
	碳排放量 (需)	$E_{ip} = \frac{GDP_i}{GDP} \times E_p$ $D_i^{CE} = \sum_{p=1}^n E_{ip} \times LCV_p \times CF_p \times O_p$	D_i^{CO} : i 区调节服务需求量 E_{ip} : i 区能源 p 的消耗量(标准煤) E_p : 研究区能源 p 的总消耗量 GDP/GDP: 区域 i 的国内生产总值在整个研究区的占比 LCV _{p} 、CF _{p} 、O _{p} : 能源 p 的低碳发热值、碳排放系数与氧化速率 ^[35] 。	
文化服务 Leisure services	公园绿地面积(供)	$S_i^{PA} = G_{is} \times POP_i$	S_i^{PA} : 文化服务供给量 G_{is} : i 区所在地级市的城市人均公园绿地面积 POP_i : i 区的常住人口	休闲娱乐是知识经济时代城市居民的迫切需求和重点之一 ^[35] 。其中,公园绿地供需关系是生态系统文化服务的重要指标。
	公园绿地需求量 (需)	$D_i^{PD} = G_{id} \times POP_i$	D_i^{PD} : i 区文化服务需求量 G_{id} : i 区人均公园绿地需求量 POP_i : i 区常住人口	
支持服务 Support services	生物多样性 (供)	$VC_k = EF_k \times 2451.56$ $S_i^{BD} = \sum A_k \times VC_k$	S_i^{BD} : i 区支持服务供给量 EF_k : 土地利用类型 K 的当量因子值 2451.56: 根据 2017 年湖南省的单位面积粮食产量修订单位面积生态系统服务当量经济价值(元/hm ²) A_k : 土地利用类型 K 的面积(hm ²) VC_k : 土地利用类型 K 单位面积生态系统服务价值(元/hm ²)	生物多样性是人类社会赖以生存和发展的基础,与人类的物质文化需求、土壤保持、气候调节及生境提供等方面均密切相关,是湖南省可持续发展的根本性要求。
	生境质量需求 (需)	$D_i^{HQ} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i^{HQ}}{\sum_{i=1}^n POP_i} \times POP_i$	D_i^{HQ} : i 区支持服务需求量 POP_i : i 区常住人口数	

(1) 根据 2008 年中华人民共和国林业行业标准,CO₂中含碳率为 27.27%。根据武文婷^[36]等学者的研究成果,确定湖南省的植物年净生产力与单位面积植被的年固碳量。(2) 根据《中国宜居城市评价指标体系》评估的十大宜居城市的人均公园绿地面积均值来表征人均公园绿地需求量

FS: 食物供给 Food supply; FD: 食物需求 Food demand; POP: 常住人口数 Population; CA: 固碳吸收 Carbon absorption; CE: 碳排放 Carbon emissions; PA: 公园面积 Park area; PD 公园需求 Park demand; BD: 生物多样性 Biological diversity; HQ: 生境质量 Habitat quality

借助统计学中的自然对数法综合表征区域生态系统服务的总供给与总需求,公式如下:

$$X = \lg(X1) + \lg(X2) + \lg(X3) + \lg(X4)$$

式中 X 表示研究区域生态系统服务总供给(需求); $X1$ 、 $X2$ 、 $X3$ 、 $X4$ 依次代表生态系统服务供给服务、调节服务、文化服务、支持服务的供给量(需求量)。

2.1.2 生态系统服务供需系数

参照钟晓青^[19]、王金南^[37]学者的绿色负担与贡献系数的构建方法,构建生态系统服务供需系数 ESSD,以分析研究单元生态系统服务供需状态,公式如下:

$$ESSD_{ij} = \frac{ES_{S_{ij}} / \sum ES_{S_j}}{ES_{D_{ij}} / \sum ES_{D_j}}$$

式中: $ESSD_{ij}$ 表示区域 i 第 j 种生态系统服务的供需系数; $ES_{S_{ij}}$ 与 $ES_{D_{ij}}$ 分别为区域 i 第 j 种生态系统服务的供给量与需求量; $\sum ES_{S_j}$ 与 $\sum ES_{D_j}$ 分别表示全省第 j 中生态系统服务的供给量与需求量。若 $ESSD_{ij} = 1$, 则表明生态系统服务供需关系相对均衡;若 $ESSD_{ij} < 1$ 或 $ESSD_{ij} > 1$, 则表明生态系统服务的供给比率小于或大于需求比率,大于 1 表现为供过于求,小于 1 表现为供不应求, $ESSD_{ij}$ 愈远离 1, 不均衡愈加重。参考吴健生^[38]等学者的研究成果及研究区实际情况,将供需系数分为供给稀缺(<0.5)、供给不足($0.5—0.75$)、供需均衡($0.75—1.25$)、供给盈余($1.25—3.0$)、供给富足(>3.0)。

2.1.3 双变量空间自相关模型法

利用双变量局部空间自相关模型(LISA)来分析湖南省生态系统服务供需空间聚类与空间离散。双变量 Moran's I 方法,包括全局的双变量 Moran's I 和局部的双变量 Moran's I 。全局双变量 Moran's I 用于检验生态系统服务供需之间是否存在空间相关性,以及存在的相关程度,而局部双变量 Moran's I 用于检验各县(市、区)之间是否存在空间相关性。公式如下:

$$I_{eu} = \frac{N \sum_i \sum_{j \neq i}^N W_{ij} z_i^e z_j^u}{(N-1) \sum_i \sum_{j \neq i}^N W_{ij}}$$

$$I_{eu} = z^e \sum_{j=1}^N W_{ij} z_j^u$$

式中: I_{eu} 与 I_{eu} 分别表示生态系统服务供给量与需求量的全局双变量和局部双变量, N 为研究变量个数, W_{ij} 为空间权重矩阵, z_i^e 是第 i 个县(市、区)的生态系统服务供给量, z_j^u 是第 j 个县(市、区)的生态系统服务需求量。

2.2 数据来源

湖南省土地利用数据来源于国土资源部土地利用变更数据(2009—2017年),对缺失的2006、2007、2008年土地利用数据采用 Land TM 和 Landsat-8 遥感影像(空间分辨率为 100m),经辐射校正、几何校正、图像配准和人工解译等处理后得到各县区的土地利用类型面积,考虑到湖南省土地利用特点及研究需要,将土地利用类型分为林地、耕地、草地、水域、建设用地、湿地、未利用土地七种类型。生态系统服务供给与需求量测算所需的能源消费量、粮食产量、人口数量、GDP、人均公园绿地面积等社会经济数据来源于研究年《中国能源统计年鉴》、《湖南省统计年鉴》及各市(县、区)统计年鉴、统计公报(2007—2018年)及政务网站。

3 结果分析

3.1 生态系统服务供需关系时序变化特征

采用自然对数法和均值法计算出湖南省及各类主体功能区生态系统服务供需系数综合值,以分析生态系统服务总供给、总需求及供需关系的时序变化特征(表3、图2)。

表 2 湖南省 2006—2017 年生态系统服务总供给、总需求及供需关系时序变化分析结果

Table 2 Analysis results of time series changes in total supply, total demand and supply and demand relationship of ecosystem services in Hu'nan Province from 2006 to 2017

湖南省及主体功能区 Hu'nan Province and the main functional area	总供给 Total supply	2006—2011 年 供给增长量 Supply growth from 2006—2011	2012—2017 年 供给增长量 Supply growth from 2012—2017	总需求 Total demand	2006—2011 年 需求增长量 Demand growth from 2006—2011	2012—2017 年 需求增长量 Demand growth from 2012—2017	供需系数变化 Variation of supply and demand coefficient	供需关系 Supply and demand relationship
湖南省 Hu'nan Province	-	0.22	0.09	-	0.93	0.52	持续增长	供过于求
重点开发区 Key development zone	最低	0.22	0.09	最高	1.09	0.56	小幅下降	供不应求
重点生态功能区 Key ecological functional zone	最高	0.21	0.06	最低	0.79	0.5	上升	供过于求
农产品主产区 Agricultural production zone	中等	0.21	0.08	中等	0.82	0.49	小幅上升	供需均衡

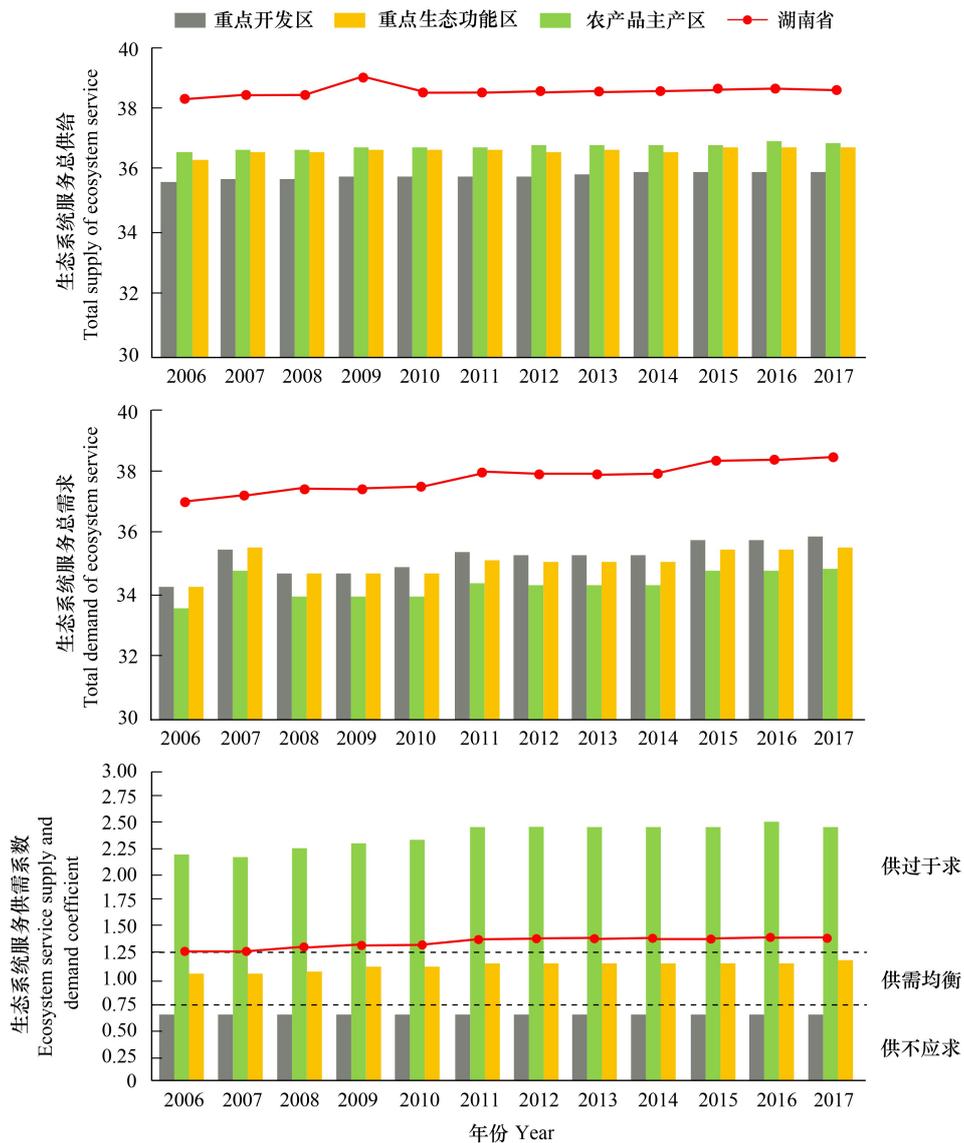


图 2 湖南省 2006—2017 年生态系统服务总供给、总需求及供需关系时序变化图

Fig.2 Time series of total supply, total demand and supply demand relationship of ecosystem services in Hu'nan Province from 2006 to 2017

总体而言,湖南省及其各类主体功能区在 2012 年之后,生态系统服务供给量均呈增加的趋势、需求增加量减少,供需系数仍保持稳定或增长的趋势,表明主体功能区政策对生态系统保护产生了积极的导向作用,有效地稳定了生态系统服务供需关系。

3.2 生态系统服务供需关系格局变化特征

从总体空间分布来看,两个时间段的生态系统服务供需系数的空间分布格局基本稳定,整体呈现西高东低的特点(图 3)。从各类生态系统服务供需关系的角度看,供给稀缺类区县在两个时间段的数量保持 21 不变,均分布在重点开发区;供给不足类区县在两个时间段数量保持 13 不变,大多分布在重点开发区;供需均衡类在两个时间段数量由 42 降到 41 个,大多分布在农产品主产区;供给盈余类区县在两个时间段数量由 37 降到 35 个,大多分布在重点生态功能区;供给富足类区县在两个时间段数量由 9 增加到 12 个,均分布在重点生态功能区。总体而言,湖南省生态系统服务整体的供需关系较协调,重点生态功能区的生态系统保护与修复具有显著成效。

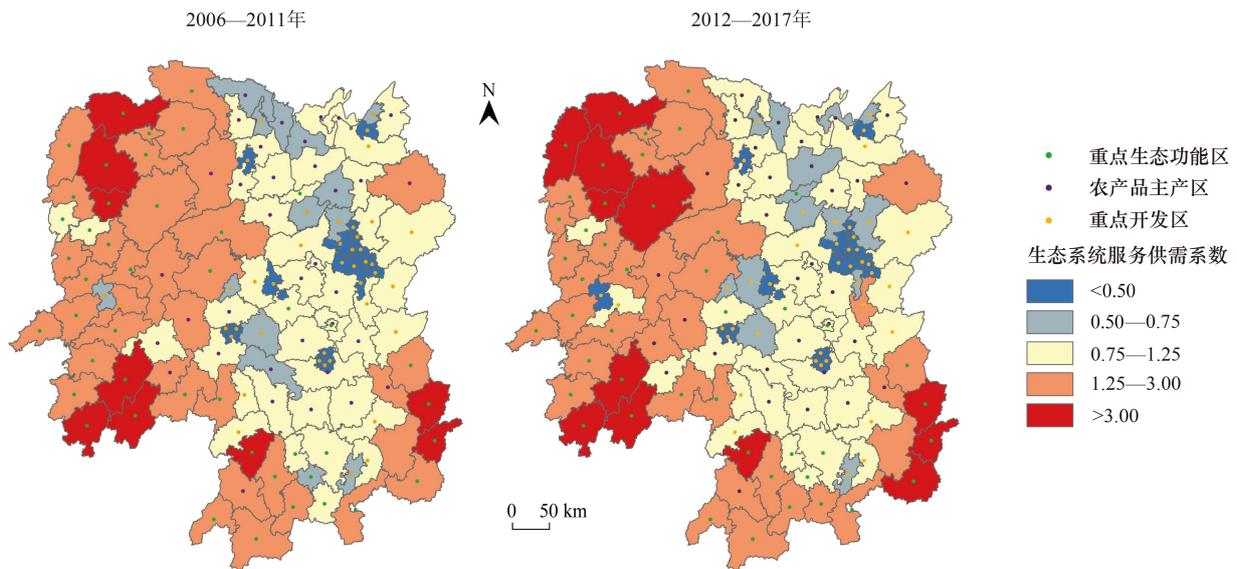


图 3 2006—2017 年生态系统服务供需系数格局变化图

Fig.3 Pattern change of the ESSD from 2006 to 2017

从各类生态系统服务来看,在两个时间段内,供应服务的供需系数空间分布格局呈现东高西低的特点,文化服务的供需在空间分布上高度均衡,调节与支持服务的供需系数在空间上呈现西高东低的特点(图 4、表 2)。从各类主体功能区来看,在两个时间段,基于人口与 GDP 对照,各类功能区的生态系统服务供需关系存在较大差异(图 5)。重点开发区的人口占比由 32.76% 增长到 35.02%,经济占比由 58.14% 增长到 61.07%,其供给稀缺与不足(<0.75)的县区数量由 30 增加到 32 个,表明该区域人口密度与经济密度增大,区域面临着生态系统服务供给不足的威胁;农产品主产区的人口占比由 39.19% 下降到 38.64%,经济占比 26.16% 下降到 24.38%,供需均衡($0.75-1.25$)状态的区县数量最多,并由 25 增加到 26 个,整体上是供需均衡发展的状态,但经济发展效率较低;重点生态功能区的人口占比由 27.33% 下降到 26.34%,经济占比由 15.71% 下降到 14.55%,供给盈余与富足(>1.25)类型的县区总数量最多,并从 37 个增加到 39 个,整体上是供过于求的状态,该区域生态环境优越、生态功能完善,人口密度低,受自然环境影响限制区域经济发展。

3.3 生态系统服务供需空间相关性特征

基于全局双变量空间自相关分析,两个时间段湖南省的生态系统服务供需关系存在显著的空间负相关特征(如图 6)。Moran's I 由 -0.051 降低到 -0.099 ,空间负相关性增强,表明湖南省在 2012 年之后生态系统服务供需空间的平衡性差异加剧。

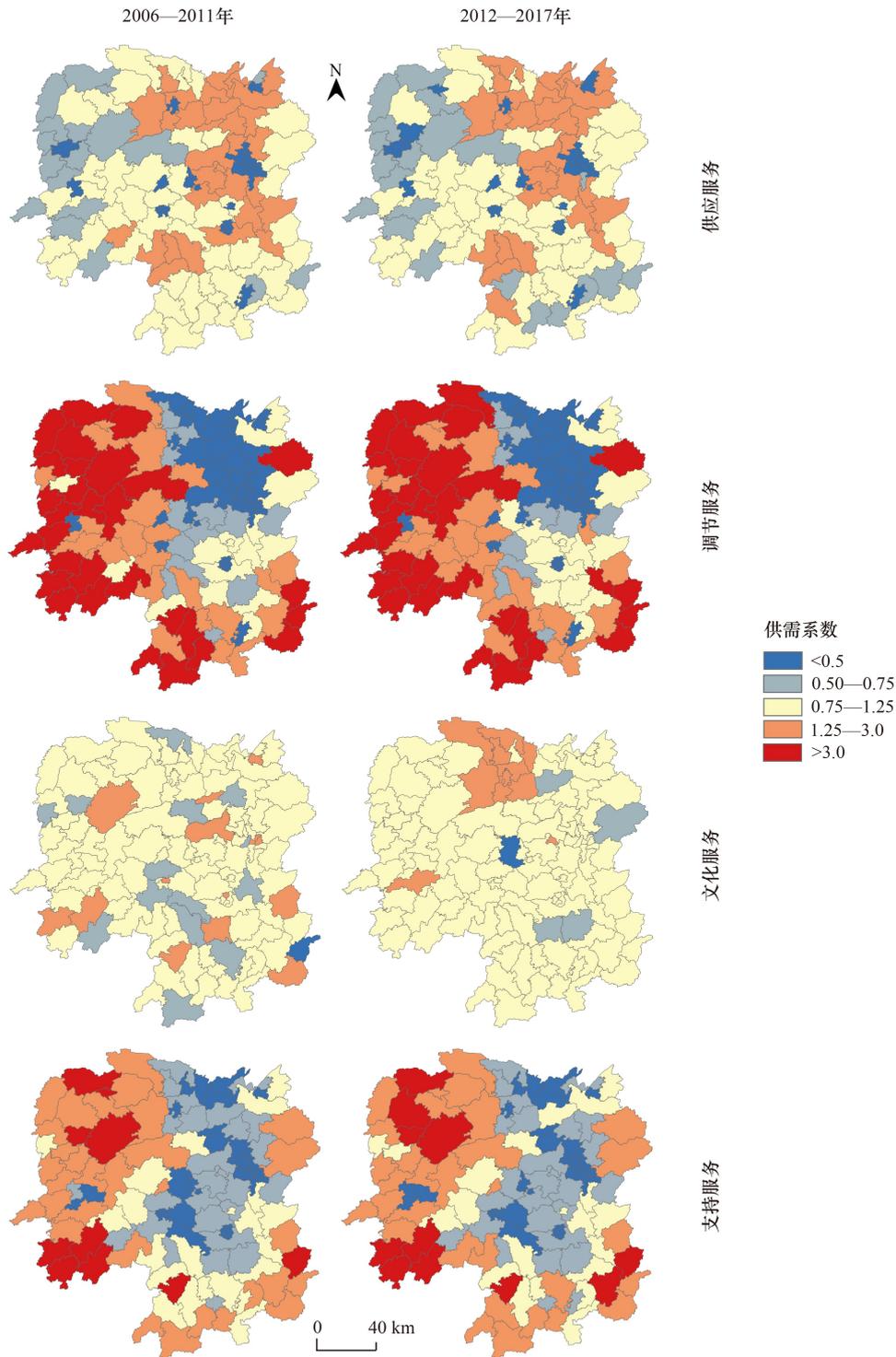


图 4 2006—2017 年四类生态系统服务供需系数空间分布图

Fig.4 Spatial distribution of the ESSD of four types of ecosystem services from 2006 to 2017

基于局部双变量空间自相关分析,生态系统服务供需空间相关性可分为四种类型,两个时段的空间分布明显相似。高高集聚区集聚在湘中与东北方向的县(市、区),分布面积最大,区县数量保持在 16 个不变,大多为农产品主产区,该地区经济发展良好,人口较集中,生态系统服务需求量大,同时生态保护成效显著,保障了生态系统服务供需平衡;高低集聚区集中分布在湘西地区,数量由 3 个增长到 5 个,均是重点生态功能区,

表 3 四类生态系统服务供需情况分布及原因分析

Table 3 Distribution and causes of supply and demand for four types of ecosystem services

生态系统服务类型 Ecosystem service type	供需情况 Supply and demand results	空间分布 Spatial distribution	主要功能区类型 Main function zone types	原因分析 Cause Analysis
供应服务 Supply Services	供给盈余/富足	洞庭湖及长株潭周边	农产品主产区	地形平坦,水源丰富,农业基础完备,拥有较强的粮食生产能力
	供给稀缺/不足	湘西地区及部分地级市市区	重点生态功能区	地形复杂,先天条件不足,生态保护政策一定程度限制了农业的发展。
调节服务 Regulation Services	供给盈余/富足	湘西及湘南地区	重点生态功能区	林木资源丰富,固碳能力强;经济发展水平低,碳排放量少
	供给稀缺/不足	长株潭及洞庭湖周边区域	重点开发区/农产品主产区	林木资源匮乏,固碳能力弱,经济发展水平高,碳排放量大
文化服务 Leisure services	供需均衡区	数量增多且愈加集中连片	三类主体功能区	伴随着城市化的发展,城市绿化服务水平提高
支持服务 Support services	供需盈余/富足	湘西与湘南地区	重点生态功能区	生态用地面积大,人口密度小
	供给稀缺/不足	长株潭及洞庭湖周边地区	重点开发区/农产品主产区	生态用地面积小,人口密度大

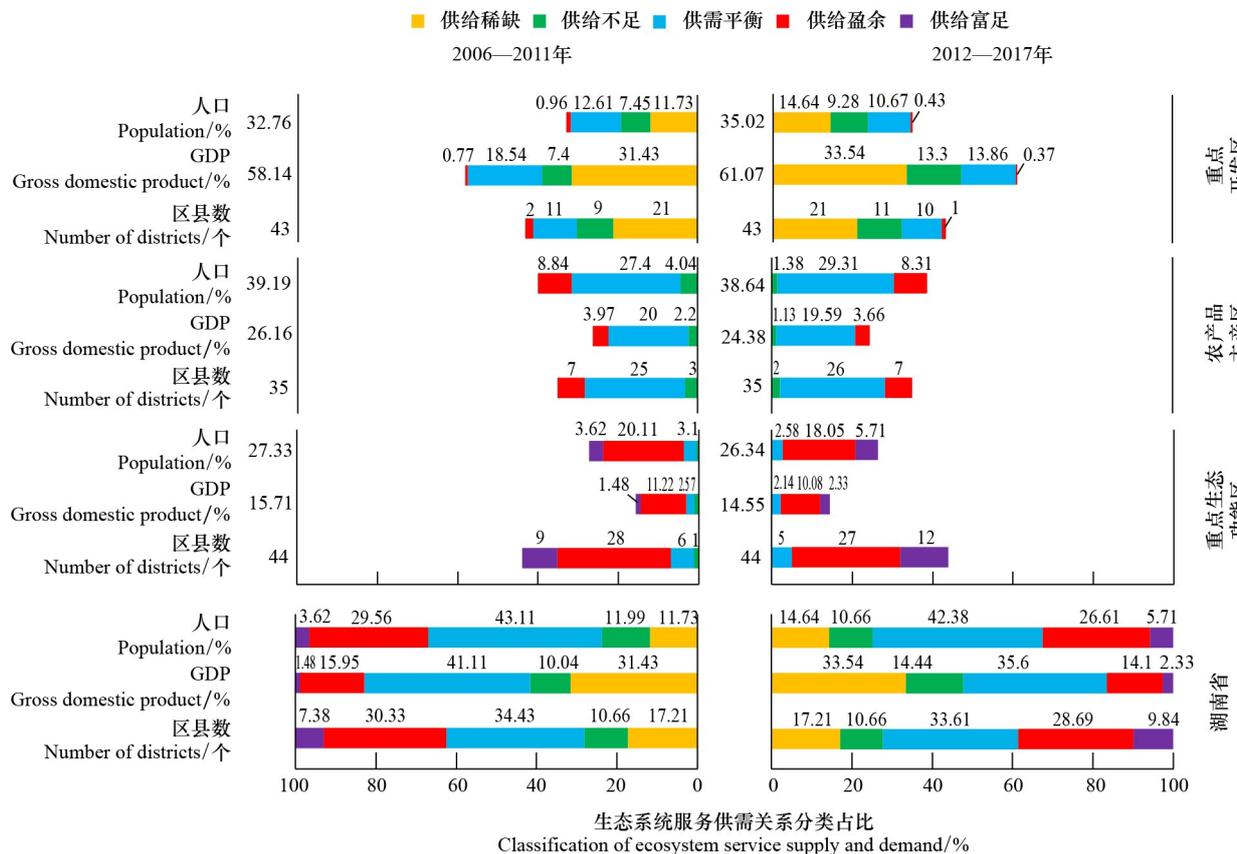


图 5 2006—2017 年各主体功能区内生态系统服务供需关系分类占比

Fig.5 Classification proportion of ecosystem service supply and demand in each main functional zone from 2006 to 2017

该类区域森林资源丰富,生态系统服务供给量大,但人口密度小,经济发展落后,生态系统服务需求量小;低高聚集区主要分布在长沙市区及周边区县,数量由 10 增加到 12 个,大多属于重点开发区,该类区域 GDP 密度与人口密度均较大,生态用地被侵蚀与破坏现象严重,导致生态系统服务供给量小于需求量;低低聚集区均分

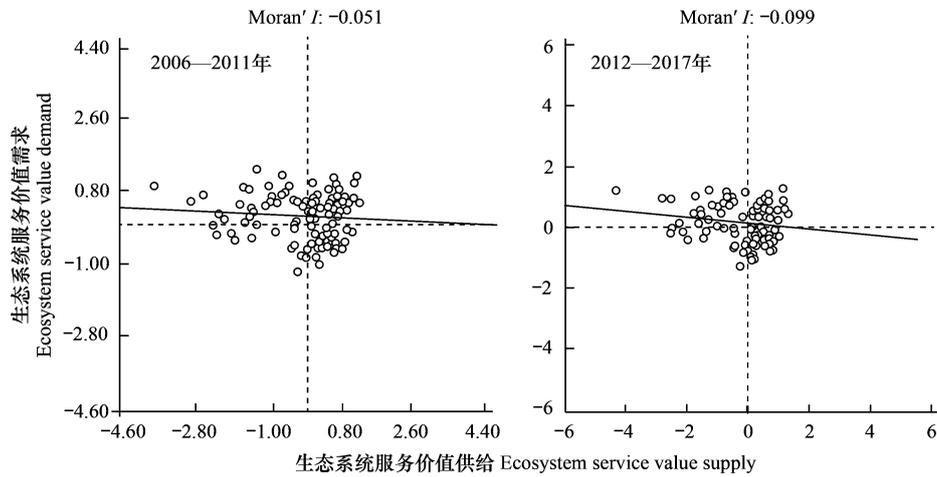


图 6 生态系统服务供需 Moran's I 散点图

Fig.6 Moran's I scatter diagram between supply and demand of ecosystem services

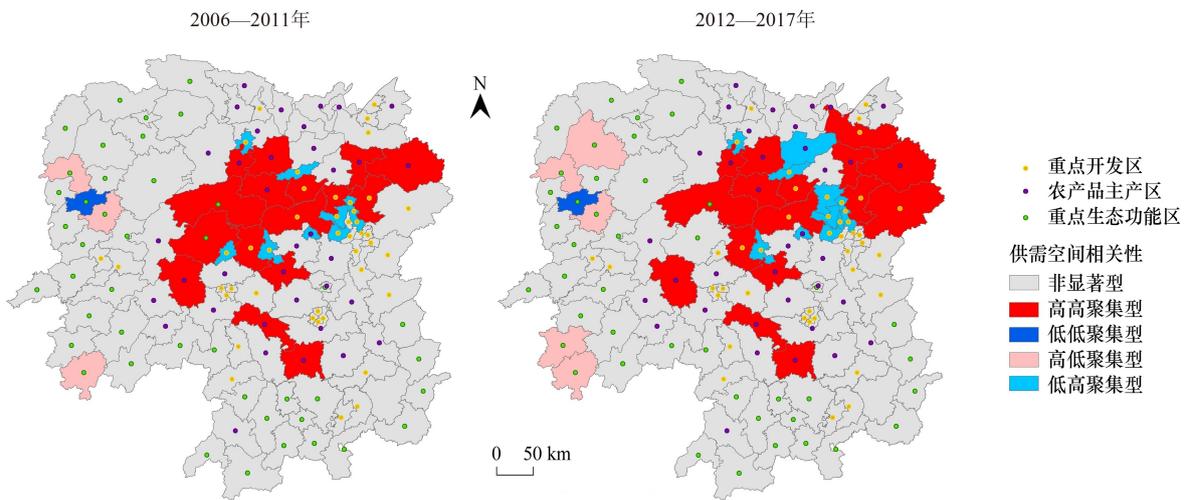


图 7 湖南省生态系统服务供需 LISA 图

Fig.7 Lisa chart of supply and demand of ecosystem services in Hu'nan Province

布在湘西首府吉首市,是重点生态功能区,城镇化发展侵占生态用地,且经济相对落后、人口相对较少,导致生态系统服务的供需量均较低。

4 讨论

生态系统用服务供需关系研究可为国土空间规划体系重构背景下区域空间管控决策提供参考。本研究基于主体功能区规划战略提出省域国土空间生态系统服务供需关系的研究框架,综合考虑了不同主体功能区内各区县生态系统服务价值与社会经济发展状况,拓宽了生态系统服务供需关系的研究范围,提供了一种新的研究思路。

主体功能区政策对区域生态环境保护具有积极的导向作用。主体功能区政策对重点生态功能区内县域生态环境质量改善与提升产生积极促进作用,这一观点在海南省^[39]、陕西省^[40]、福建省^[41]等省域区域的国家重点功能区相关研究中亦有论证。本研究进一步表明在主体功能区政策的导向下,重点生态功能区作为限制开发区,在区域经济发展上极大程度受到限制,生态保护与经济发展矛盾依然尖锐^[42];重点开发区在持续

追求发展经济的同时,对区域生态环境的破坏现象依然存在^[43]。

由于不同功能区具有其特殊的自然与社会环境,致使不同功能区的生态资源存在较大的差异,在主体功能区的政策导向下会导致不同功能区之间的生态系统服务供需差异加大。未来重点开发区加强生态空间的修复与重构,严控增量、优化存量,完善绿色基础设施建设,实现经济发展与生态保护的“双赢”;农产品主产区要坚持以保育为主、培育为辅,重视农业的生态功能和经济效益,保护耕地资源与生态资源,提高农业综合生产效率,延长农业发展产业链,提升经济效益;重点生态功能区要以综合保护为主,推进退耕还林、封山育林等生态保护工程,在经济发展方面,要在国家生态转移支付政策的基础上不断完善有效且多元的生态补偿机制,令生态产品价格能够反映其包含的生态价值,不断激发内生发展动力,调整产业结构,推进经济快速发展。

本研究存在一定局限性,联合国千年评估计划将生态系统服务分为供给服务、调节服务、文化服务、支持服务四大类及若干小类^[2],但本研究结合区域实际情况仅涉及到四类服务,不能够完全代表研究区生态系统的全部服务。采用静态的计算方法不足以反映生态系统服务的外溢性特征,仍需进一步研究生态系统服务供需关系精确度量的方法。在未来的研究中,精确量化生态系统服务供需关系的影响因素并考虑不同服务之间的权衡与协同关系,并通过模拟优化技术开展主体功能区优化相关研究,对生态系统可持续管理具有重要意义。

5 结论

基于主体功能区视角,运用生态系统服务供需系数与双变量空间自相关等方法对湖南省在 2006—2011 年、2012—2017 年两个阶段的生态系统服务供需关系的时空变化与空间相关性特征进行分析,主要结论如下:

(1) 2012 年之后各主体功能区的生态系统服务供给量均增加,需求增长量减少,供需系数保持稳定增长,表明在主体功能区政策的导向下破坏生态系统服务的人类行为得到有效遏制,有效稳定了生态系统服务供需关系,生态系统保护工作取得显著成效。

(2) 湖南省在两个时间段内生态系统服务供需系数始终存在显著的空间异质性,总体呈现西高东低的特征。关于供需系数的空间分布,供应服务呈现东高西低,文化服务呈现高度均衡,调节与支持服务呈现西高东低的特点。

(3) 根据人口、GDP 变化与生态系统服务供需关系对比,重点生态功能区由于主体功能区划的实施及先天禀赋的分工模式将其发展路径“锁定”为发挥生态效应,但外溢的生态效应很难转化为经济收益,从而限制了其经济与人口增长;农产品主产区的发展路径是提供农业产品,保障粮食安全,区域发展受到制约,从而导致这两类功能区与重点开发区的经济与人口发展的差距不断拉大。

(4) 湖南省生态系统服务供给与需求空间负相关性增强,生态系统服务供需空间平衡性差异加剧。在两个时间段,高高集聚区中大多数区县是农产品主产区;高低集聚区数量增多,且均是重点生态功能区;低高集聚区绝大多数是重点开发区;低低集聚区始终在以湘西吉首市为代表的重点生态功能区。

参考文献(References):

- [1] 文雅, 龚建周, 胡银根, 胡志仁. 基于生态安全导向的城市空间扩展模拟与分析. 地理研究, 2017, 36(3): 518-528.
- [2] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 陈文辉, 李士美. 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. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243-1254.
- [3] 管青春, 郝晋珉, 许月卿, 任国平, 康蕾. 基于生态系统服务供需关系的农业生态管理分区. 资源科学, 2019, 41(7): 1359-1373.
- [4] 景永才, 陈利顶, 孙然好. 基于生态系统服务供需的城市群生态安全格局构建框架. 生态学报, 2018, 38(12): 4121-4131.
- [5] 郭朝琼, 徐昔保, 舒强. 生态系统服务供需评估方法研究进展. 生态学杂志, 2020, 39(6): 2086-2096.
- [6] 邓楚雄, 刘俊宇, 李忠武, 肖海兵, 聂小东, 张宇婷, 周咪. 近 20 年国内外生态系统服务研究回顾与解析. 生态环境学报, 2019, 28(10): 2119-2128.
- [7] 白杨, 王敏, 李晖, 黄沈发, Alatalo J M. 生态系统服务供给与需求的理论与管理方法. 生态学报, 2017, 37(17): 5846-5852.
- [8] 肖玉, 谢高地, 鲁春霞, 徐洁. 基于供需关系的生态系统服务空间流动研究进展. 生态学报, 2016, 36(10): 3096-3102.
- [9] 刘慧敏, 范玉龙, 丁圣彦. 生态系统服务流研究进展. 应用生态学报, 2016, 27(7): 2161-2171.

- [10] 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.
- [11] Serma-Chavez H M, Schulp C J E, van Bodegom P M, Bouten W, Verburg P H, Davidson M D. A quantitative framework for assessing spatial flows of ecosystem services. *Ecological Indicators*, 2014, 39: 24-33.
- [12] Wang J, Zhai T L, Lin Y F, Kong X S, He T. Spatial imbalance and changes in supply and demand of ecosystem services in China. *Science of the Total Environment*, 2019, 657: 781-791.
- [13] 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): 5414-5424.
- [14] 欧维新, 王宏宁, 陶宇. 基于土地利用与土地覆被的长三角生态系统服务供需空间格局及热点区变化. 生态学报, 2018, 38(17): 6337-6347.
- [15] 武爱彬, 赵艳霞, 沈会涛, 秦彦杰, 刘欣. 京津冀区域生态系统服务供需格局时空演变研究. 生态与农村环境学报, 2018, 34(11): 968-975.
- [16] 董潇楠, 谢苗苗, 张覃雅, 王萌辉, 郭雪莹. 承灾脆弱性视角下的生态系统服务需求评估及供需空间匹配. 生态学报, 2018, 38(18): 6422-6431.
- [17] 石忆邵, 史东辉. 洞庭湖生态经济区生态服务供需平衡研究. 地理研究, 2018, 37(9): 1714-1723.
- [18] 顾康康, 杨倩倩, 程帆, 储金龙, 陈晓华. 基于生态系统服务供需关系的安徽省空间分异研究. 生态与农村环境学报, 2018, 34(7): 577-583.
- [19] 钟晓青, 张万明, 李萌萌. 基于生态容量的广东省资源环境基尼系数计算与分析——与张音波等商榷. 生态学报, 2008, 28(9): 4486-4493.
- [20] 谢余初, 张素欣, 林冰, 赵银军, 胡宝清. 基于生态系统服务供需关系的广西县域国土生态修复空间分区. 自然资源学报, 2020, 35(1): 217-229.
- [21] 王雯雯, 叶菁, 张利国, 魏超, 张红伟, 刘寒寒. 主体功能区视角下的生态补偿研究——以湖北省为例. 生态学报, 2020, 40(21): 7816-7825.
- [22] 仲俊涛, 米文宝. 基于生态系统服务价值的宁夏区域生态补偿研究. 干旱区资源与环境, 2013, 27(10): 19-24.
- [23] 朱佩娟, 马林志. 基于复合生态系统理论的长沙湘江滨水区景观资源评价与优化. 长江流域资源与环境, 2010, 19(1): 86-92.
- [24] Quintas-Soriano C, García-Llorente M, Norström A, Meacham M, Peterson G, Castro A J. Integrating supply and demand in ecosystem service bundles characterization across Mediterranean transformed landscapes. *Landscape Ecology*, 2019, 34(7): 1619-1633.
- [25] 王萌辉, 白中科, 董潇楠. 基于生态系统服务供需的陕西省土地整治空间分区. 中国土地科学, 2018, 32(11): 73-80.
- [26] 李梦桃, 周忠学. 西安市城市景观的正负生态系统服务测算及空间格局. 地理学报, 2016, 71(7): 1215-1230.
- [27] Chen J Y, Jiang B, Bai Y, Xu X B, Alatalo J M. Quantifying ecosystem services supply and demand shortfalls and mismatches for management optimisation. *Science of the Total Environment*, 2019, 650: 1426-1439.
- [28] Morri E, Pruscini F, Scolozzi R, Santolini R. A forest ecosystem services evaluation at the river basin scale: supply and demand between coastal areas and upstream lands (Italy). *Ecological Indicators*, 2014, 37: 210-219.
- [29] 马桥, 刘康, 高艳, 李影, 范亚宁, 古超. 基于 SolVES 模型的西安浐灞国家湿地公园生态系统服务社会价值评估. 湿地科学, 2018, 16(1): 51-58.
- [30] 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.
- [31] 李晖. 湖南农业持续发展的生存资源优度评价. 地理科学进展, 2000, 19(1): 41-49.
- [32] 崔树强, 朱佩娟, 周国华, 张鸿辉, 邓新忠. “三生”视角下的城市空间功能变化及调控路径——以长沙市为例. 长江流域资源与环境, 2020, 29(8): 1733-1745.
- [33] 熊鹰, 张方明, 龚长安, 罗朋. LUCC 影响下湖南省生态系统服务价值时空演变. 长江流域资源与环境, 2018, 27(6): 1397-1408.
- [34] 刘春芳, 王伟婷, 刘立程, 李鹏杰. 西北地区县域生态系统服务的供需匹配——以甘肃古浪县为例. 自然资源学报, 2020, 35(9): 2177-2190.
- [35] Shi Y S, Shi D H, Zhou L L, Fang R B. Identification of ecosystem services supply and demand areas and simulation of ecosystem service flows in Shanghai. *Ecological Indicators*, 2020, 115: 106418.
- [36] 武文婷, 夏国元, 包志毅. 杭州市城市绿地固碳释氧价值量评估. 中国园林, 2016, 32(3): 117-121.
- [37] 王金南, 逯元堂, 周劲松, 李勇, 曹东. 基于 GDP 的中国资源环境基尼系数分析. 中国环境科学, 2006, 26(1): 111-115.
- [38] 吴健生, 门·新纳, 梁景天, 赵宇豪. 基于基尼系数的生态系统服务供需均衡研究——以广东省为例. 生态学报, 2020, 40(19): 6812-6820.
- [39] 侯鹏, 翟俊, 曹巍, 杨旻, 蔡明勇, 李静. 国家重点生态功能区生态状况变化与保护成效评估——以海南岛中部山区国家重点生态功能区为例. 地理学报, 2018, 73(3): 429-441.
- [40] 徐鸿翔, 张文彬. 国家重点生态功能区转移支付的生态保护效应研究——基于陕西省数据的实证研究. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(11): 141-148.
- [41] 林云杉. 水源涵养型国家重点生态功能区的生态环境评价——以福建省为例. 福建师大福清分校学报, 2018, (2): 94-100.
- [42] 李影, 李宝林, 祁佳丽, 袁焯城, 蒋育昊, 刘岩, 刘海江. 国家重点功能区转移支付对生态系统格局变化的县域对比分析. 生态学报, 2022, 42(11): 4369-4378.
- [43] 欧阳晓, 王坤, 魏晓. 城乡建设用地关联对生态系统服务的影响研究——以洞庭湖地区为例. 生态学报, 2022, 42(21): 1-10.