

基于市域尺度的长江经济带生态产品价值时空特征

武家佳^a,何小芊^b

(东华理工大学 a.地球科学学院;b.经济与管理学院,南昌 330013)

摘要:在推进长江大保护的背景下,探究长江经济带生态产品价值的时空动态演变特征,可为推动长江经济带高质量发展提供有益借鉴。本文基于2005—2020年长江经济带土地利用数据,采用修正后的当量因子表核算长江经济带130个地级市单元的生态产品价值,利用空间统计分析方法揭示长江经济带生态产品价值的时空特征,得出以下结论。1)长江经济带生态产品总值年际变化小,总值水平主要受地区土地面积和用地类型影响;单位面积生态产品价值保持在较为稳定水平,部分地级市变化率的类型有明显变化;市域生态产品价值的空间差异显著,长江上游与下游的生态产品总值差异大,长江南部与北部地区单位面积生态产品价值差异较明显。2)长江经济带单位面积生态产品价值的热点和冷点呈现集聚分布格局,热点区和次热点区分布较为广泛,冷点区和次冷点区数量呈先减后增的趋势;生态产品价值重心位于湖南省常德市,随时间推移“西高东低”的空间分布格局逐渐加强,标准差椭圆方位角变化较为稳定。3)长江经济带市域单位面积生态产品价值存在显著的空间正相关性,空间集聚类型以“高-高”和“低-低”为主,“高-高”集聚区主要分布在云南省中西部地区、湘黔交界地区、江西省北部及浙江省中西部地区,“低-低”集聚区集中分布于四川中东部和苏皖北部地区。

关键词:生态产品价值;当量因子表;时空特征;长江经济带

中图分类号:K901 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-8020(2025)02-0156-13

生态文明建设是维护区域生态安全的必然要求,也是实现绿色可持续发展的必然举措^[1]。生态产品是生态系统为经济活动和其他人类活动提供且被使用的货物与服务贡献,它是生态系统服务的中国化表达^[2]。生态产品价值包括生态系统为社会生产和人类福祉可持续发展所提供的供给、调节、支持、文化服务价值的总和^[3-4]。通过对不同地区的生态产品价值进行定量核算,不仅可以贯彻落实“两山”理念的具体行动,还可以客观看待经济发展和生态保护之间的关系^[5],为促进生态文明建设提供理论和数据支撑^[6]。

1997年Costanza等^[7]首次提出的当量因子法成为目前评估生态产品价值运用的最广泛的方法之一,并引起了国内学者对生态产品价值研究的关注。谢高地等^[8]学者结合我国实际情况对其修改,制定了适用于中国的生态产品价值当量因子表。此后,当量因子法被众多学者应用于国家^[9]、区域^[10]、省份^[11]、城市^[12]等不同尺度以及

农田^[13]、森林^[14]、湿地^[15]、河流^[16]等不同类型生态系统的生态产品价值核算。近年来,由于生态产品价值评估方法的逐渐成熟以及RS和GIS等技术的快速发展^[17],时空演化过程及分析也逐渐融入研究之中,由此出现了对生态产品价值的空间异质性的量化评估^[18],更加注重对区域生态产品价值时空演变特征进行分析。因此,对生态产品价值的空间异质性和时间演变进行综合分析,可以更加精准地解释生态产品价值分布的动态过程,把握其变化规律^[19]。

长江经济带横跨中国东中西三大区域,是具有全球影响力的内河经济带、东中西互动合作的协调发展带,也是生态文明建设的先行示范带^[20]。目前针对长江经济带的研究多集中于评估整个流域或省域尺度生态产品价值^[21-22],分析社会经济与生态产品价值的时空关联性^[23-24],而从市域尺度研究长江经济带生态产品价值的成果较少。在长江经济带建设中,由于社会经济活动

收稿日期:2024-12-16;修回日期:2025-02-16

基金项目:国家自然科学基金(42061041);江西省青年马克思主义者理论研究创新工程资助项目(24ZXQM108);江西省社会科学基金(24GL20)

通信作者简介:何小芊(1981—),男,教授,硕士研究生导师,博士,研究方向为生态产业化与区域旅游发展。E-mail:ecithxq@163.com

强度的不断加大,长江经济带生态环境和供需矛盾日益突出^[25]。因此探究长江经济带生态产品价值时空特征,将生态产品所蕴含的价值转化为实际的经济价值,是长江经济带新的绿色发展机遇。基于此,本文以长江经济带为研究区域,利用 2005—2020 年土地利用数据,通过构建当量因子表对长江经济带 130 个地级市单元生态产品价值进行核算,利用空间统计分析方法分析长江经济带生态产品价值的时空特征,以期提升长江经济带生态产品价值提供科学指导,为践行“两山”理论和推动长江经济带高质量发展提供数据支撑。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

长江经济带是指以长江为核心的宏观协作经济带,横跨中国东、中、西部地区,覆盖长江流域 9 省 2 市,总土地面积约占 205 万 km²。截至 2020 年底,常住人口数量超过 6 亿,GDP 总量为 47.16 万亿元,人口数量和 GDP 均超过全国的 40%。长江经济带自然资源丰富,生态产品类型多样,其中上

游是西部地区重要的生态屏障,下游地区是我国湖泊分布最密集地区之一,是维护我国生态安全的重要区域。在参考相关研究文献的基础上,将重庆市和上海市视为市域单元进行研究^[26]。因此,本文研究的长江经济带地级市单元共计 130 个。

1.2 数据来源

本文所采用的长江经济带 2005、2010、2015 和 2020 年土地利用分类数据来源于武汉大学 CLCD 数据集 (<https://doi.org/10.5281/zenodo.4417809>)。该数据集基于 Google Earth Engine (GEE) 平台,并利用随机森林分类器生成分类结果,采用时空滤波和逻辑推理后处理方法提升时空一致性,数据集空间分辨率为 30 m,总体精度达到 80%,如图 1 所示。为满足研究需求,本文结合谢高地等^[29]对我国陆地生态系统的具体划分,使用 ArcGIS 10.8 平台将原始数据中的用地类型重新划分为耕地、林地、草地、水域、荒漠和建设用地 6 类。本文研究所需的农产品价格、种植面积、产量统计数据均来源于 2006—2021 年《中国农业年鉴》《中国农产品价格调查年鉴》以及长江经济带各地级市统计公报。

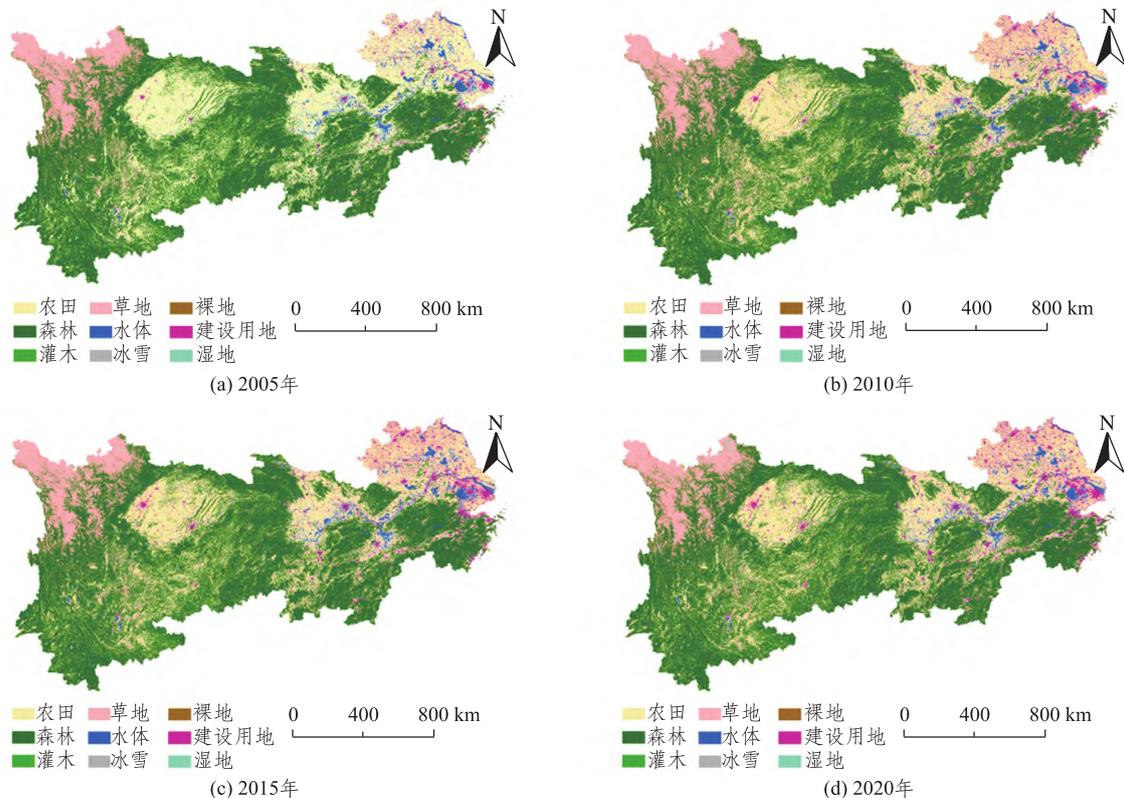


图 1 2005—2020 年长江经济带用地类型分布

Fig.1 Distribution of land use types in the Yangtze River Economic Belt from 2005 to 2020

注:本图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载审图号 GS(2016)2892 标准地图制作,底图无修改。

2 研究方法

2.1 生态产品价值系数修正及价值核算

目前,针对生态产品价值核算的方法主要分为两类:其一是运用于各大学科领域的功能价值法^[27-28];其二是适用于评估中大尺度和区域生态产品价值的当量因子法^[7-8]。相比之下,运用当量因子法所计算出的结果可以更直观地体现生态产品的经济价值^[29-30],且核算所需的研究数据更适宜对各项生态产品服务功能和不同土地利用类型价值进行横向比较,且评估精度较高、规范性较强。本文采用改进修正后的当量因子法,将生态产品按服务功能划为供给服务、调节服务、支持服务、文化服务四大类,通过计算与研究区域实际相符合的标准价值当量,科学量化各类型的生态产品价值当量,

再结合不同地区土地利用类型面积,计算各市级行政区的生态产品总值与单位面积生态产品价值。

2.1.1 当量因子和标准当量的确定

本文采用谢高地等制定的中国不同陆地生态系统单位面积生态服务价值表^[29-30],并通过对我国不同省份耕地生态系统生物量因子测算,得出长江经济带农田生态系统生物量因子为 1.3,结合实际情况并根据土地利用现状进行划分,确定适宜于长江经济带的生态产品价值当量表(表 1)。此外通过综合的统计分析,谢高地等学者认为单位面积农田粮食生产价值的 1/7 可以代表一个标准生态产品价值当量因子^[8],为消除不同年份自然和市场因素对研究区域粮食价格和种植面积的影响而产生的波动,粮食产量取 2005—2020 年平均粮食产量,并根据计算得到长江经济带的标准当量为 $1\ 581.93\ \text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

表 1 长江经济带生态产品价值当量表

Tab.1 Value equivalent table of ecological products in the Yangtze River Economic Belt

一级服务	二级服务	农田	森林	草地	湿地	未利用土地	水域	建设用地
供给服务	食物生产	0.74	0.34	0.31	0.68	0	0.53	0
	原料生产	0.33	0.77	0.46	0.67	0	0.15	0
	水资源供给	-1.74	0.40	0.25	3.44	0	6.95	0
调节服务	气体调节	1.18	2.54	1.60	2.53	0.03	0.63	0
	气候调节	0.62	7.59	4.24	4.79	0	1.88	0
	净化环境	0.18	2.22	1.40	4.79	0.13	3.80	0
	水文调节	1.99	4.97	3.11	32.23	0.04	72.73	0
支持服务	土壤保持	0.69	3.09	1.96	3.07	0.03	0.62	0
	维持养分	0.21	0.24	0.15	0.24	0	0.05	0
	生物多样性	0.23	2.81	1.78	10.47	0.03	1.70	0
文化服务	美学景观	0.10	1.23	0.78	6.29	0.01	1.32	0

然而,在不同地理区域的生态系统服务功能发展存在异质性,因此本研究需要对生态产品当量因子进行修正,计算生态产品价值系数,公式如下:

$$V_{ij} = E \times e_{ij}, \quad (1)$$

式中: V_{ij} 为第 i 种土地利用类型 j 的生态产品价值系数; E 为 1 个标准当量 ($\text{元} \cdot \text{km}^{-2}$); e_{ij} 为第 i 种土地利用类型 j 的生态产品价值当量因子。

根据计算公式(1),得到单位面积生态产品量,即单位面积生态产品价值(表 2)。

2.1.2 生态产品价值计算

根据研究区不同年份不同类型土地利用面积,计算长江经济带各地级市生态产品总值。由于生态产品价值受研究区面积大小影响较大,使得其空间分异的结果存在不合理现象,还需计算各地级市单位面积生态产品价值量。为探究长江经济带生态产品价值的时空演变规律,还需计算

研究区内单位面积生态产品价值的变化率。生态产品总值 (G)、单位面积生态产品价值 (A) 和单位面积生态产品价值变化率 (C) 的计算公式如下:

$$G = \sum_{i,j=1}^n (L_{ij} \times V_{ij}), \quad (2)$$

$$A = \frac{\sum_{i,j=1}^n (L_{ij} \times V_{ij})}{\sum_{i=1}^n L_{ij}}, \quad (3)$$

$$C = \frac{A_{t2} - A_{t1}}{A_{t1}} \times 100\%, \quad (4)$$

式中: G 表示生态产品总值(元), A 表示生态产品价值的平均值 ($\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$), 由生态产品价值除以行政区面积计算得到; L_{ij} 为第 i 种土地利用类型 j 的面积 (hm^2); A_{t1} 和 A_{t2} 分别为 $t1$ 到 $t2$ 时单位面积生态系统服务价值 ($\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$)。

表 2 长江经济带单位面积生态产品价值
Tab.2 Values of ecological products per unitarea in the Yangtze River Economic Belt

		元 · hm ⁻²						
一级服务	二级服务	农田	森林	草地	湿地	未利用土地	水域	建设用地
供给服务	食物生产	2 325.44	537.86	490.40	1 075.71	0	838.42	0
	原料生产	522.04	1 218.09	727.69	1 059.89	0	237.29	0
	水资源供给	-2 752.56	632.77	395.48	5 441.84	0	10 994.41	0
调节服务	气体调节	1 866.68	4 018.10	2 531.09	4 002.28	47.46	996.62	0
	气候调节	980.80	12 006.85	6 707.38	7 577.44	0	2 974.03	0
	净化环境	284.75	3 511.88	2 214.70	7 577.44	205.65	6 011.33	0
	水文调节	3 148.04	7 862.19	4 919.80	50 985.60	63.28	115 053.77	0
支持服务	土壤保持	1 091.53	4 888.16	3 100.58	4 856.53	47.46	980.80	0
	维持养分	332.21	379.66	237.29	379.66	0	79.10	0
	生物多样性	363.84	4 445.22	2 815.84	16 562.81	47.46	2 689.28	0
文化服务	美学景观	158.19	1 945.77	1 233.91	9 950.34	15.82	2 088.15	0

2.2 热点分析

利用 ArcGIS 10.8 软件中的 G_i^* 指数分析单位面积生态产品价值的高值区和低值区的空间聚类分布情况,可以揭示不同地区生态产品价值的空间差异特征^[31],公式如下:

$$G_i^*(d) = \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij}(d) P_j}{\sum_{j=1}^n P_j}, \quad (5)$$

式中: n 为地级市单元的数量, P_j 为空间单元单位面积生态产品价值的观测值, W_{ij} 为空间权重矩阵。 G_i^* 接近于 0, 表示观测值是随机分布的; 而 G_i^* 的绝对值越大, 越容易形成热点区或冷点区。

2.3 标准差椭圆及重心分析

利用 ArcGIS 10.8 软件中重心分析模型测算长江经济带各地级市单位面积生态产品价值的标准间距和重心点,能直观反映其在空间上的不同变化特征,并通过标准差椭圆分析方法测算单位面积生态产品价值的运动规律^[32],公式如下:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i x_i}{\sum_{i=1}^n A_i}, \quad (6)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i y_i}{\sum_{i=1}^n A_i}, \quad (7)$$

$$S = \pi \alpha_x \alpha_y, \quad (8)$$

式中: \bar{X} 、 \bar{Y} 为椭圆重心的的地理坐标; A_i 为地级市

i 的单位面积生态产品价值; x_i 、 y_i 为城市 i 的重心坐标; S 为椭圆面积, α_x 、 α_y 为椭圆的标准差。

2.4 空间自相关分析

空间自相关是指在一定地理空间区域内度量某一特征值与某处特征位置空间要素是否存在集聚性,是判断是否具有空间效应的重要依据^[33-34]。本文利用 ArcGIS 10.8 软件分析全局和局部 Moran's I 指数,对生态产品价值全局自相关和局部自相关进行分析。在标准化统计量 Z 基础上绘制 LISA 集聚图,对其进行显著性检验,公式如下:

$$Z = \frac{1 - A(I)}{\sqrt{E(I)}}, \quad (9)$$

式中: $A(I)$ 为全局 Moran's I 的平均值, $E(I)$ 为全局 Moran's I 的方差。 Z 值为正值表明存在空间正相关; Z 值为负值表明存在空间负相关; Z 值为零则表明不存在空间相关性。若局部 Moran's I 通过显著性检验,可通过 LISA 集聚图将区域划分为“高-高”“高-低”“低-低”和“低-高”4 种类型。

3 长江经济带生态产品价值时序变化分析

3.1 生态产品总值的变化

采用自然断点法,将长江经济带各地级市生态产品总值由低到高分 5 个等级,如图 2 所示。从图 2 可以看出,2005—2020 年长江经济带生态产品总值较为稳定,因水域单位面积生态产品价

值系数较高以及森林土地利用面积占比较大,使二者成为核算长江经济带生态产品总值的重要组成部分^[35]。从各地级市的年际变化上看,仅在六盘水市、盐城市、宁波市的生态产品总值发生了等级上的变化,其他各地级市生态产品总值变化幅度较小。从不同时间段来看,长江经济带生态产品总值在 2005—2010 年间有一定提升,但在 2010—2020 年之间由于区域内城镇化及工业化进程加快,生态产品总值有部分回落,整体水平有所下降,水域和森林等用地面积和生态质量受到很大干扰,长江经济带整体的生态环境面临考验。

由于各地生态产品总值水平受本地区土地面积和用地类型影响较大,土地面积较大地区的生态产品价值的基础核算量较多,生态产品总值相应较高^[36],因此甘孜藏族自治州、阿坝藏族羌族

自治州、凉山彝族自治州、普洱市、重庆市、赣州市等面积较大地级市的生态产品总值高于其他地区,面积较小的地级市整体生态产品总值偏低。从表 2 中也可以看出,地区用地类型的不同对生态产品价值量的核算有较大影响,核算价值由大到小为:水域、湿地、森林、草地、农田、未利用土地、建设用地。从不同区域来看,长江上游地区各地级市生态产品总值最高,中游地区次之,下游地区相对偏低。长江上游地区生态用地类型丰富,且地级市的地域面积较大,因而生态产品总值最高;长江下游地区地势地平,以平原丘陵为主,经济发达且城镇化水平高,近年来将部分水域和森林等高生态产品价值的用地转为建设用地^[24],因而生态产品总值较低。

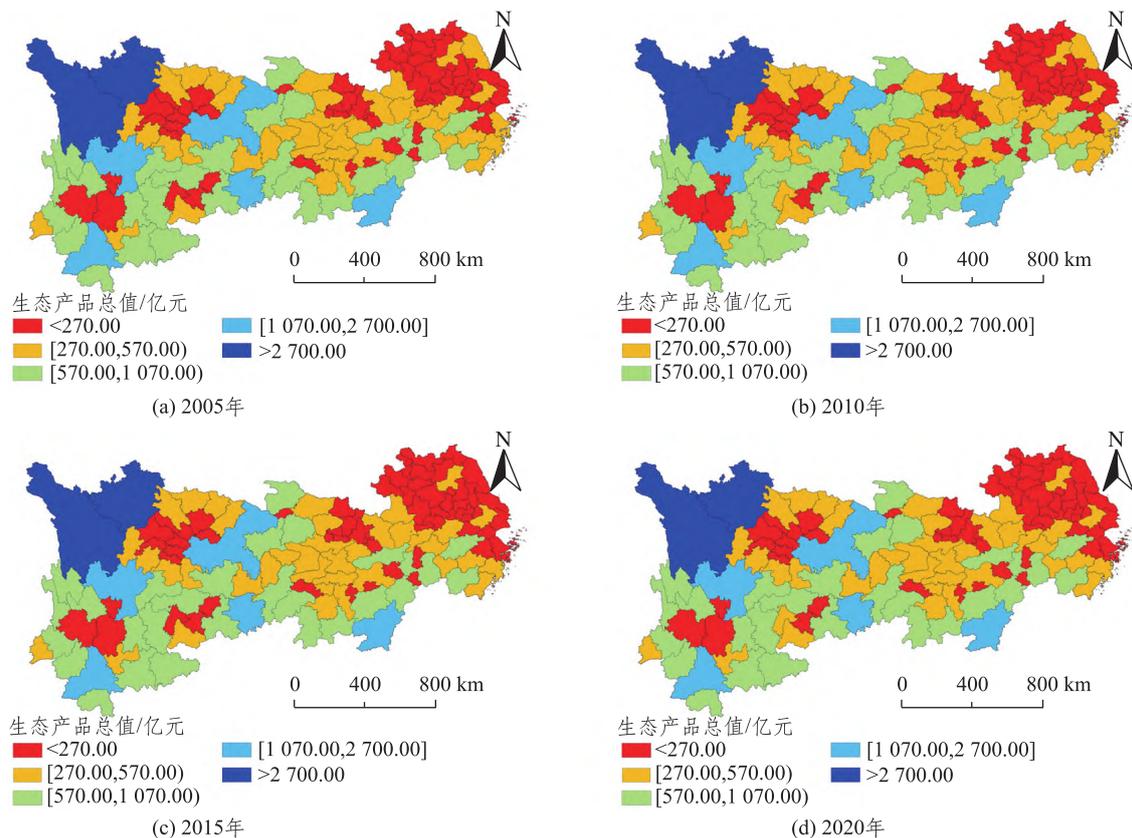


图 2 2005—2020 年长江经济带市域生态产品总值分级图

Fig.2 Graded maps of the total value of ecological products in the municipalities of the Yangtze River Economic Belt from 2005 to 2020

注:本图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载审图号 GS(2016)2892 标准地图制作,底图无修改。

3.2 单位面积生态产品价值的变化

计算长江经济带各地级市的单位面积生态产品价值,即单位面积生态产品价值(万元· hm^{-2}),

可以消除不同地区面积对生态产品价值核算的影响^[36]。比较分析各地级市之间的空间差异水平,并利用 ArcGIS 10.8 软件对其空间数据进行可视化,将单位面积生态产品价值由低到高分 5 个

等级,如图 3 所示。总体来看,长江经济带各地级市单位面积生态产品价值的年际变化小,空间差异性显著。从不同等级的单位面积生态产品价值来看,价值偏低的地区主要集中于川东南、鄂中、皖北、苏北及苏东等地区。以长江为界,北部地区的单位面积生态产品价值偏低,原因在于地形地貌和气候条件的不同,以及土地利用类型的差异导致长江流域以北地区的水域面积较少,为适应生产生活,将较多森林和草地用地转为农田和建筑用地;苏皖北部地区多为平原,农田分布较广,因而该区域的单位面积生态产品价值量偏低。中等水平价值量的地级市分布较为广泛,数量呈先减后增趋势,整体占研究区域 40% 以上,主要分布于云南省、湖南省、江西省、浙江省以及四川省西部地区。上述地区水热条件较好,并且河网密

集,地形地貌多为山地丘陵,森林覆盖度较高,单位面积生态产品价值普遍偏高^[24]。较高水平价值量的地级市分布在神农架林区、九江市、丽水市、苏州市,丽水市自 2015 年后单位面积生态产品价值量逐渐降低,而苏州市的价值量始终为长江经济带最高水平。神农架林区作为国家级自然保护区,良好的林地覆盖能够有效促进水源涵养,丰富的动植物种类为生态系统提供较强的稳定性,因此该地单位面积生态产品价值较高。九江市、丽水市、苏州市皆位于长江经济带中下游地区,水系发达,并且都靠近水量丰富的鄱阳湖和太湖等湖泊流域,水域和森林等单位面积生态产品价值系数较高的土地利用类型分布较多^[37],单位面积生态产品价值量较高。

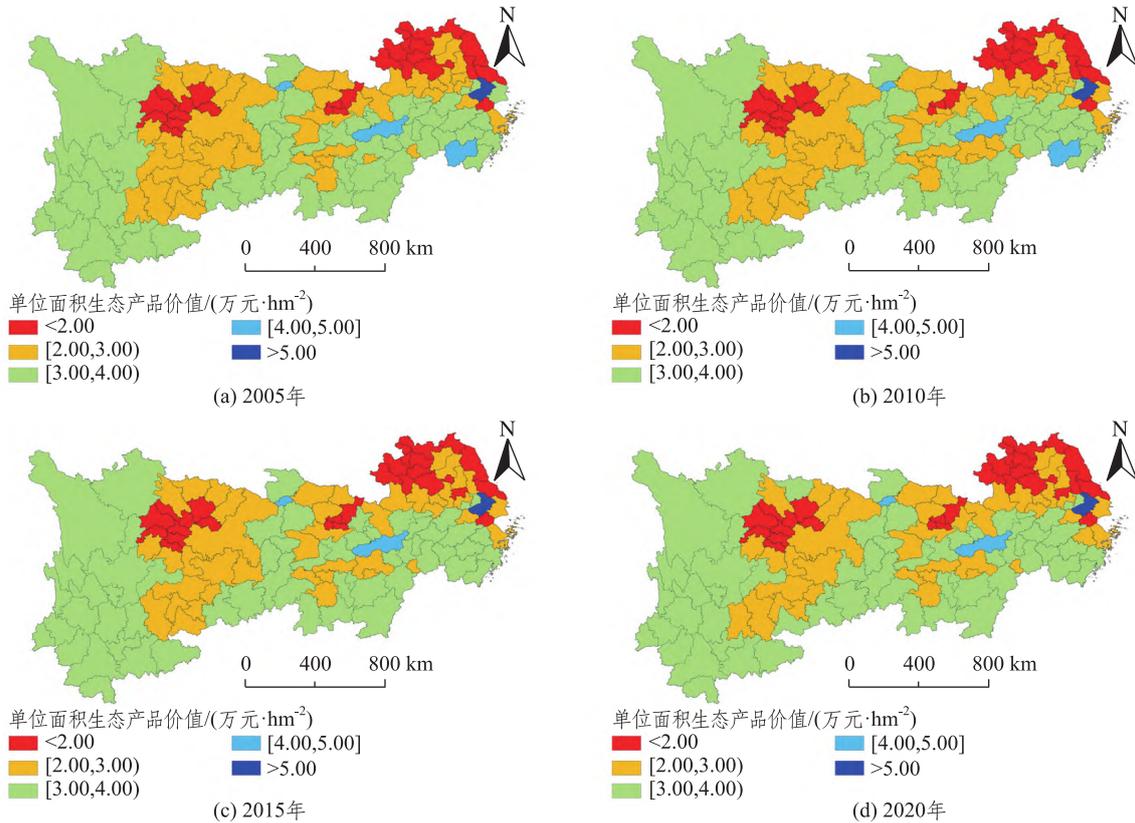


图 3 2005—2020 年长江经济带市域单位面积生态产品价值分级图

Fig.3 Graded maps of the value of ecological products per unit area in the municipalities of the Yangtze River Economic Belt from 2005 to 2020

注:本图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载审图号 GS(2016)2892 标准地图制作,底图无修改。

3.3 单位面积生态产品价值变化率

为体现长江经济带各地级市单位面积生态产品价值量在一定时期的变化方向及趋势,计算

2005—2020 年单位面积生态产品价值变化率并进行可视化制图,将其分为较快降低($<-5\%$)、缓慢降低($[-5\%,0\%)$)、平稳上升($[0\%,5\%]$)、较快上升($>5\%$)4 个等级,如图 4 所示。总体来看,

2005—2020 年长江经济带 46 个地级市的单位面积生态产品价值量呈现上升趋势,主要集中于云南省、贵州省、四川省、重庆市以及中游部分地区,84 个地级市呈现下降趋势,占整体比重较大。从年际变化上看,市域单位面积生态产品价值量变化率的类型在等级上变化明显,川东地区为向上变化剧烈地区,苏北地区及上海市则为向下变化剧烈地区。从不同时间段来看,2005—2010 年,大部分地级市的单位面积生态产品价值变化率为缓慢降低和平稳上升水平,整体变化较为缓慢,较快降低和较快上升的区域较为分散,川东北地区

变化率上升较快,较快降低和较快上升的地级市数量为 3 个研究时间段内最多。2010—2015 年,变化率缓慢降低的地级市占总数的 60% 左右,变化率平稳上升的地级市数量明显减少。2015—2020 年,变化率缓慢降低的地级市数量进一步增多且分布较为集中,主要聚集于长江经济带中下游地区以及川西和滇中等地区,在湘东北—鄂东南、苏东—苏南表现出较快降低趋势。变化率平稳上升趋势的地区主要集中于长江经济带中上游部分地区,在川东北则表现出较快上升的集聚态势。

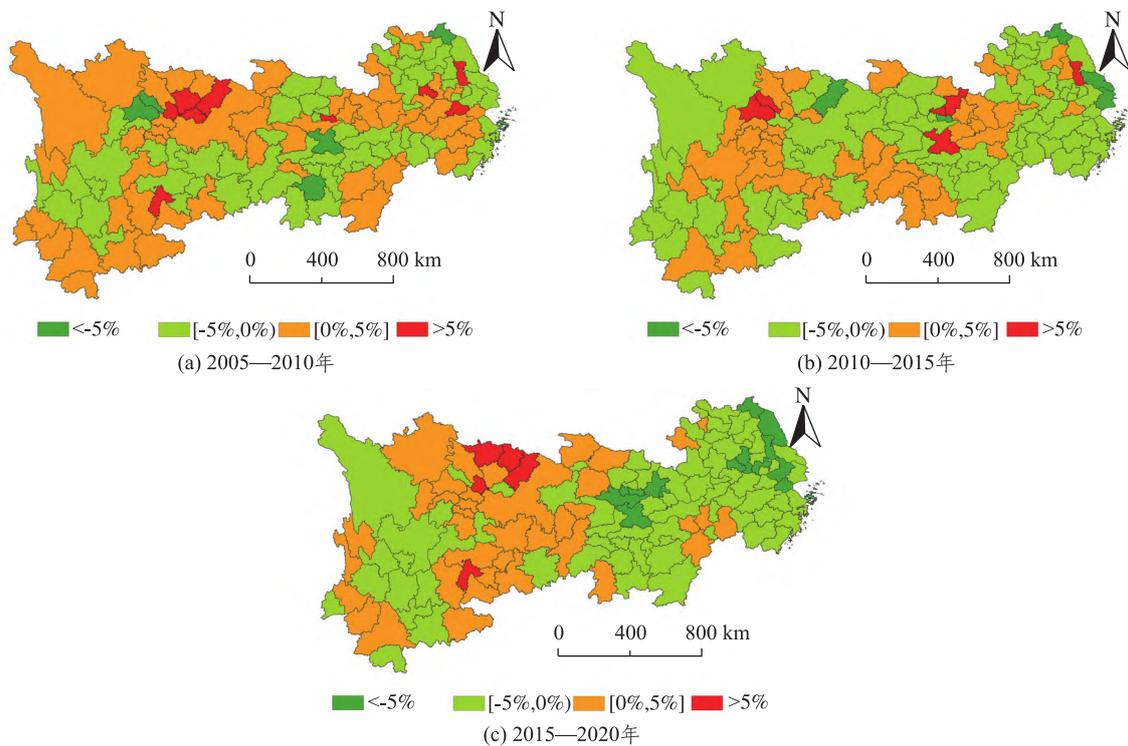


图 4 2005—2020 年长江经济带市域单位面积生态产品价值变化率

Fig.4 Change rate of the value of ecological products per unit area of municipalities in the Yangtze River Economic Belt from 2005 to 2020

注:本图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载审图号 GS(2016)2892 标准地图制作,底图无修改。

4 长江经济带生态产品价值空间特征分析

4.1 空间差异分析

4.1.1 热点分析

运用冷热点分析方法,可探究长江经济带单位面积生态产品价值的空间变化是否存在集聚情况。采用 ArcGIS 10.8 软件中的热点探测工具,通

过 Jenks 自然断点法将其 Z 值划为 5 个等级,即冷点区、次冷点区、不显著区、次热点区、热点区(图 5)。由图 5 可以看出,2005—2020 年长江经济带单位面积生态产品价值冷热点呈现典型的高低值空间集聚分布格局,集聚范围变化不显著,热点区和次热点区分布较为广泛但呈现波动减少态势,单位面积生态产品价值较高的空间聚类趋势逐渐缩小;冷点区和次冷点区数量表现出先减后增的趋势,2015 年为冷点区和次冷点区数量减少拐点,之后数量开始增加;次冷点区和次热点区分

别位于冷点区和热点区的周围,对其二者呈包围状分布。

从不同地区冷热点分布来看,热点区和次热点区集中于川西—滇西、湘西—鄂西南、浙南、皖南以及江西省部分地区,上述地区的土地利用类型以森林和水域为主,其二者单位面积生态产品价值系数较高,因此区域整体价值量较高,易形成

热点高值聚集区。冷点区多集中于川东、鄂东、皖北及苏北地区,并随时间推移冷点区范围不断扩大,在 2020 年则形成了以上海市为中心的新次冷点。上述地区农田面积占区域总面积的 70% 左右,且多为经济较为发达地区,城镇建筑用地占比较大,人类活动对生态产品价值的影响较强,因此形成了低值聚集区。

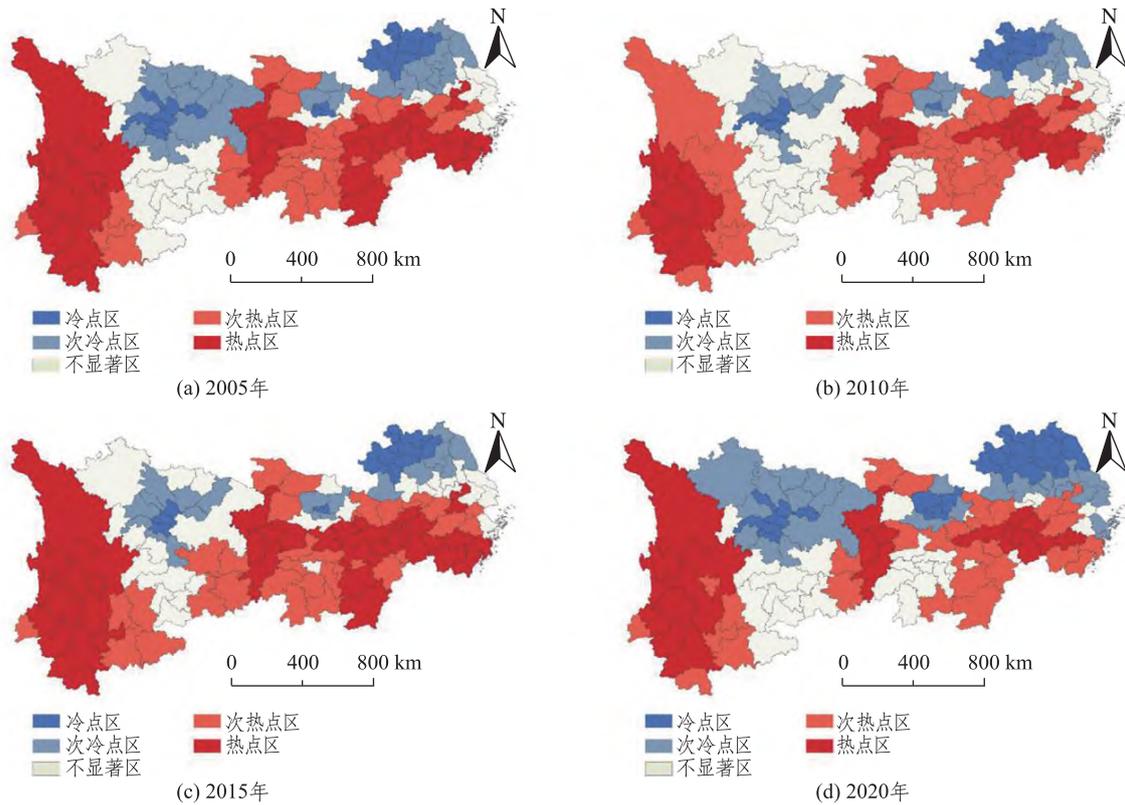


图 5 长江经济带市域单位面积生态产品价值冷热点图

Fig.5 Cold and hot spot maps of the value of ecological products per unit area in the municipal area of the Yangtze River Economic Belt

注:本图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载审图号 GS(2016)2892 标准地图制作,底图无修改。

4.1.2 标准差椭圆及重心分析

采用重心模型对长江经济带各地级市单位面积生态产品价值进行分析,分别计算各时期生态产品价值的标准差椭圆和重心迁移方向,并利用 ArcGIS 10.8 软件绘制其空间变化轨迹,如图 6 所示。从重心移动的空间轨迹上来看,研究期间内长江经济带单位面积生态产品价值的重心始终在湖南省常德市附近,整体变化幅度较小。重心变化过程主要分为三个阶段:第一阶段为 2005—2010 年,先向西北方向小幅度偏移;第二阶段为 2010—2015 年,再向西南方向小幅度偏移;第三阶段为 2015—2020 年,向西南方向移动,幅度较

大,说明重心迁移以东西方向为主,“西高东低”的空间分布格局逐渐加强。究其原因,2015 年后,长江经济带中上游地区重视生态环境保护^[38],单位面积生态产品价值显著提升,下游地区由于经济发展与城镇化进程加速导致了生态产品价值的下降^[39],进一步促进了重心向西南地区偏移。

从标准差椭圆方位角变化来看,其始终处于 76.86°—76.99°,整体变化较为稳定,表明长江经济带单位面积生态产品价值整体呈“西南—东北”方向分布格局。椭圆长轴由 2005 年的 991.50 km 缩短至 2020 年的 988.16 km,呈波动下降趋

势;短轴由 2005 年的 296.88 km 增加至 2020 年的 299.38 km,呈缓慢上升趋势;椭圆扁率由 70.06% 下降到 69.70%,表明长江经济带单位面

积生态产品价值沿“西南—东北”方向呈较为收敛式分布,而在“西北—东南”方向表现出扩散的趋势。

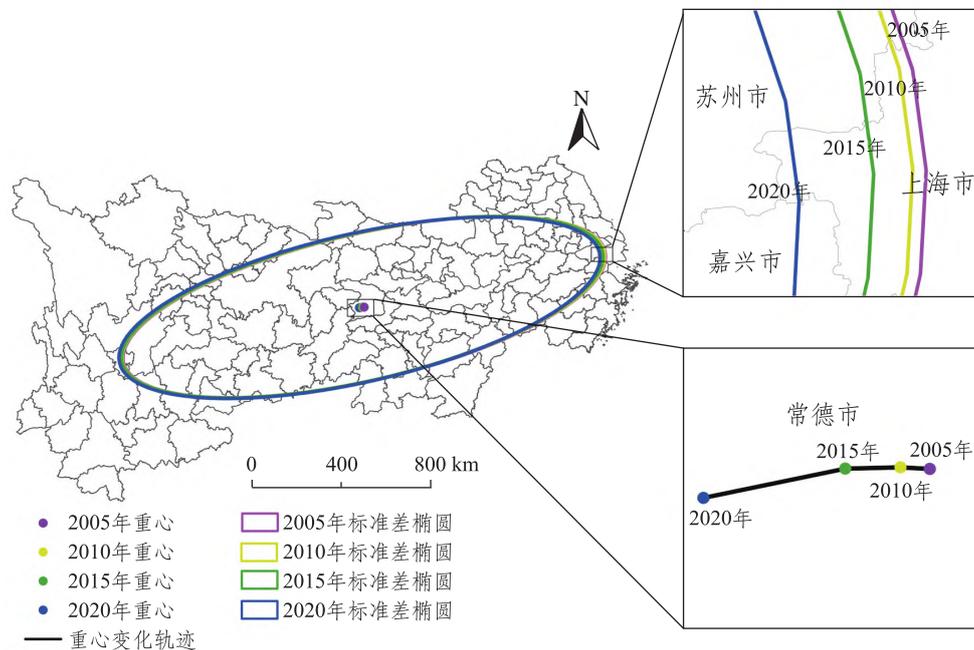


图 6 长江经济带市域单位面积生态产品价值标准差椭圆及重心分布

Fig.6 Standard deviation ellipse and center of gravity distribution of the value of ecological products per unit area in the municipal area of the Yangtze River Economic Belt

注:本图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载审图号 GS(2016)2892 标准地图制作,底图无修改。

4.2 空间自相关分析

4.2.1 全局自相关

为探究长江经济带单位面积生态产品价值的空间关联,运用 ArcGIS 10.8 软件中的空间统计分析工具计算各地级市单位面积生态产品价值的 Moran's I 指数和相关参数(见表 3)。由表 3 可

知,长江经济带单位面积生态产品价值具有较强的空间正相关性。4 个年份的 Moran's I 指数均为正值,但整体呈波动缓慢下降的趋势,表明长江经济带单位面积生态产品价值的高值和低值集聚效应均有逐渐弱化的倾向,即生态产品价值空间集聚效应逐渐递减,使得其空间结构发生一定程度变化。

表 3 长江经济带市域单位面积生态产品价值全局自相关参数

Tab.3 Global spatial autocorrelation parameters of ecological product value per unit area in prefecture-level units of the Yangtze River Economic Belt

年份	Moran's I 指数	预期指数	Z 值	P 值	年份	Moran's I 指数	预期指数	Z 值	P 值
2005	0.441 1	-0.007 8	13.667 6	0.000 0	2015	0.428 1	-0.007 8	13.261 7	0.000 0
2010	0.435 5	-0.007 8	13.496 0	0.000 0	2020	0.428 6	-0.007 8	13.264 0	0.000 0

4.2.2 局部自相关

为进一步揭示长江经济带单位面积生态产品价值量在空间上的集聚特征,运用 GeoDa 软件和 ArcGIS 10.8 软件生成 LISA 集聚图,并将其分为“高-高”“高-低”“低-低”“低-高”集聚 4 种基本类型,如图 7 所示。2005—2020 年长江经济带单位面积生态产品价值的空间异质性较大但变

化较为稳定,空间集聚类型以“高-高”和“低-低”为主,“高-高”集聚区主要分布在三大区域:一是云南省中西部,该地区自然生态环境良好,生物多样性丰富,且较为注重生态平衡和保护;二是湘黔交界地区,以贵州省铜仁市和湖南省湘西土家族苗族自治州为中心,该地区为武陵山区,地形复杂,海拔差异大,由此形成了多样化的生态环境,

适宜的气候条件促进了丰富的植物生长和生态环境的多样性;三是江西省北部和浙江省中西部地区,该地区河流湖泊众多,为生态系统提供了良好的水源支持,且当地农民普遍采取可持续的农业和林业管理措施,生态产品价值显著提升。“低-低”集聚区集中分布于四川中东部和苏皖北部地区,主要原因在于四川中东部总体地势平坦,海拔较低,山地和森林等自然生态资源较少,川中地区人口密度较高,土地利用强度较大,对自然资源的

利用和开发压力较大^[40],整体生态产品价值较低。苏皖北部地区以传统农业为主,由于耕作方式较为粗放,对土壤、水资源、生物多样性等造成了负面影响^[41-42],从而导致生态系统服务价值下降。总体上看,“低-高”集聚和“高-低”集聚分别分布在“高-高”集聚和“低-低”集聚周围,因此更需要充分发挥“低-高”集聚区和“高-低”集聚区的空间溢出效应,注意区域内生态产品价值水平的进一步提升。

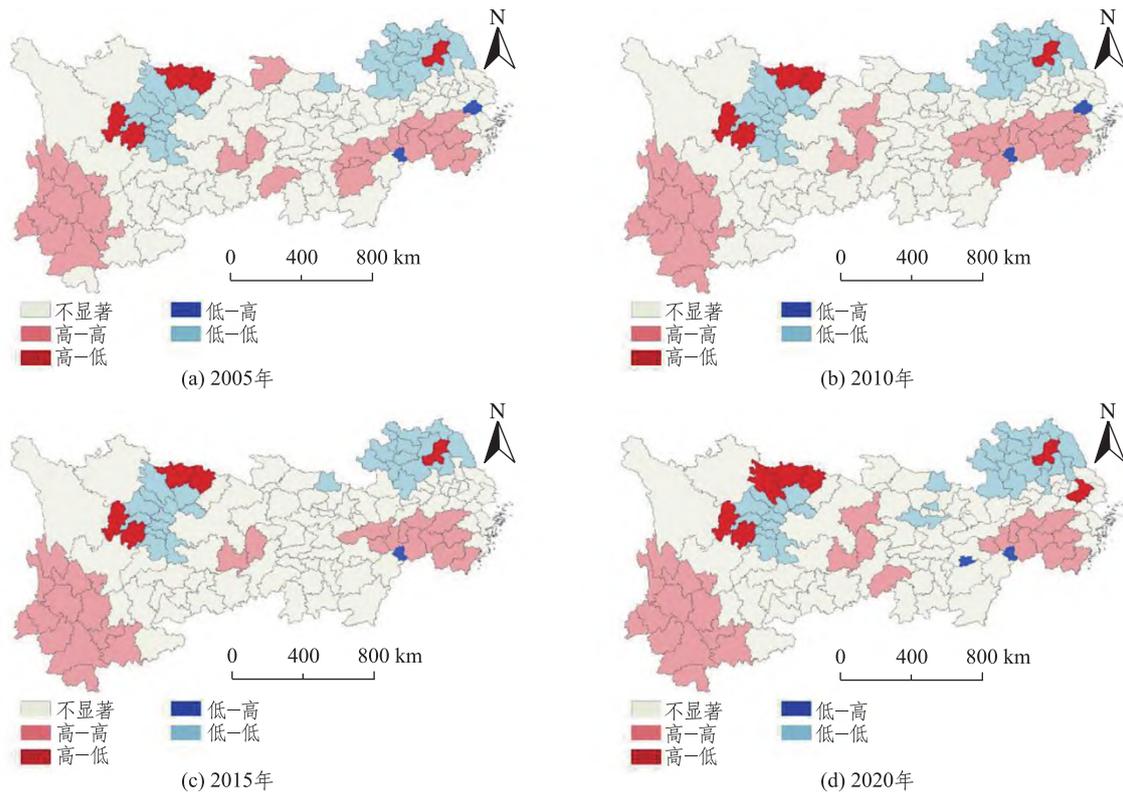


图 7 长江经济带市域单位面积生态产品价值 LISA 集聚图

Fig.7 LISA clustering maps of the value of ecological products per unit area in the municipal area of the Yangtze River Economic Belt
注:本图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载审图号 GS(2016)2892 标准地图制作,底图无修改。

5 结论与讨论

5.1 结论

本文以长江经济带为研究区域,基于市域尺度核算生态产品总值和单位面积生态产品价值量,运用空间统计分析方法研究其时空特征,主要结论如下。

1) 2005—2020 年长江经济带生态产品总值较为稳定,上游地区最高,中游地区次之,下游地区偏低。生态产品总值水平受地区土地面积和用

地类型影响较大,水域和森林用地面积对核算结果有重要影响。市域单位面积生态产品价值量的空间差异显著,价值量水平较为稳定但呈现逐渐降低的趋势;以长江为界,北部地区的单位面积生态产品价值低于南部地区。

2) 长江经济带单位面积生态产品价值冷热点呈现典型的高低值空间集聚分布格局,集聚范围变化不显著,热点区和次热点区分布较为广泛,冷点区和次冷点区数量呈先减后增的趋势,次冷点区和次热点区分别位于冷点区和热点区的周围。热点高值聚集区多位于森林和水域用地面积大的地区,低值聚集区以经济发达、城镇化水平高

的地区为主。

3) 长江经济带单位面积生态产品价值的重心始终在湖南省常德市附近,整体变化幅度较小,先向西北再向西南方向偏移,说明重心迁移以东西方向为主,“西高东低”的空间分布格局逐渐加强。标准差椭圆方位角变化整体较为稳定,单位面积生态产品价值水平沿“西南—东北”方向呈收敛式分布。

4) 长江经济带市域单位面积生态产品价值表现出较明显的空间正相关,全局 Moran's I 指数呈波动缓慢下降的趋势,空间集聚效应逐渐递减。单位面积生态产品价值的空间集聚类型以“高-高”和“低-低”为主,“高-高”集聚区主要分布在云南省中西部地区、湘黔交界地区、江西省北部及浙江省中西部地区,“低-低”集聚区集中分布于四川中东部和苏皖北部地区。

5.2 讨论

加快推动长江经济带生态产品价值实现是践行习近平生态文明思想和推动高质量发展的重要基础。当前针对长江经济带整体和省域尺度的核算方法和研究体系已较为完善,由于生态系统自身的复杂性和异质性,中小尺度空间生态产品价值的核算显得尤为重要。与此同时,全社会对生态产品价值实现的机制与路径开展积极探索,也成为学界关注的焦点,但研究成果多为对截面数据或具体某一用地类型生态产品价值的理论探讨。本文的主要贡献在于:第一,在科学测度长江经济带市域生态产品总值和单位面积生态产品价值的基础上,对其空间分布格局进行分析,为流域生态产品价值研究提供有益借鉴;第二,运用空间统计分析方法,对长江经济带生态产品价值的时间演变和空间异质性进行综合分析,为探究区域生态产品价值的动态变化过程及其规律提供有益参考。

本文采用基于土地面积的当量因子法核算区域生态产品价值,难以准确地反映生态系统的真实价值和动态性,且易受到外部因素变化的干扰,核算结果容易出现偏差。在后续的研究过程中,可运用生态模型与方程对不同类型的生态产品价值量进行评估,将建设用地中的文化服务价值量纳入价值核算。

参考文献:

- [1] 帅红,吴珍,李鑫.长江经济带生态文明建设水平变化特征与影响因素分析[J].湖南师范大学自然科学学报,2024,47(2):52-61.
- [2] 靳诚,陆玉麒.我国生态产品价值实现研究的回顾与展望[J].经济地理,2021,41(10):207-213.
- [3] 欧阳志云,肖燧,朱春全.生态系统生产总值(GEP)核算理论与方法[M].北京:科学出版社,2021.
- [4] 欧阳志云,朱春全,杨广斌,等.生态系统生产总值核算:概念、核算方法与案例研究[J].生态学报,2013,33(21):6747-6761.
- [5] 卢婷,姚娟.生态系统服务价值评价研究现状及展望[J].农业展望,2018,14(4):53-57.
- [6] 马勇,凌旋,童昀.格网尺度下典型旅游城市生态服务价值估算和时空分异特征:以三亚为例[J].生态学报,2021,41(19):7542-7554.
- [7] COSTANZA R, D'ARCE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997, 387(6630):253-260.
- [8] 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.
- [9] 谢高地,张彩霞,张昌顺,等.中国生态系统服务的价值[J].资源科学,2015,37(9):1740-1746.
- [10] 王奕淇,孙学莹.黄河流域生态系统服务价值时空演化及影响因素[J].环境科学,2024,45(5):2767-2779.
- [11] 郑思远,陈江海,朱红伟.江西省生态服务价值时空特征研究[J].人民长江,2021,52(11):69-75.
- [12] 危小建,辛思怡,张颖艺,等.不同格网尺度下生态系统服务价值空间分异及其影响因素差异:以大南昌都市圈为例[J].生态学报,2023,43(18):7585-7597.
- [13] 彭李智,胡石元,张金亭,等.顾及城郊农田生态服务价值的中心城区生态安全网络重构[J].生态学报,2024,44(13):5801-5815.
- [14] 李艺欣,张颖.生态系统服务价值评估及其溢出效应研究:以承德市森林生态系统为例[J].环境保护,2023,51(22):47-54.
- [15] 张昊杰,李传武,刘永芳.盐城黄海湿地世界自然遗产地生态系统服务价值评估[J].水电能源科学,2024,42(9):48-51.
- [16] 咎欣,张玉玲,贾晓宇,等.永定河上游流域水生态系统服务价值评估[J].自然资源学报,2020,35(6):1326-1337.
- [17] 姜晗,吴群.基于LUCC的江苏省生态系统服务价值评估及时空演变特征研究[J].长江流域资源与环境

- 境,2021,30(11):2712-2725.
- [18] 陈玉福,董鸣.生态学系统的空间异质性[J].生态学报,2003,23(2):346-352.
- [19] 李紫健,陈江平,张伟康,等.湖北省生态系统服务价值演变及影响因素分析[J].测绘科学,2023,48(1):245-257.
- [20] 刘嗣方.习近平总书记关于推动长江经济带发展重要论述的内涵要义、内蕴方法及创新贡献[J].改革,2024(2):1-14.
- [21] 刘园,周勇.长江经济带生态系统服务价值时空变化特征分析及灰色预测[J].生态经济,2019,35(4):196-201.
- [22] 钟业喜,朱治州.长江经济带土地利用及其生态系统服务价值演变研究[J].江西师范大学学报(哲学社会科学版),2018,51(3):100-107.
- [23] 李久林,雷秋慧,胡大卫,等.长江经济带人类活动强度与生态系统服务价值时空关联特征分析[J].长江流域资源与环境,2024,33(9):1992-2003.
- [24] 张中浩,聂甜甜,高阳,等.长江经济带生态系统服务与经济社会发展耦合协调关联时空特征研究[J].长江流域资源与环境,2022,31(5):1086-1100.
- [25] 刘毅,周成虎,王传胜,等.长江经济带建设的若干问题与建议[J].地理科学进展,2015,34(11):1345-1355.
- [26] 王文辉,王鑫滨,熊建新,等.长江经济带旅游生态系统适应性时空格局及影响因素[J].地理科学,2024,44(11):1966-1976.
- [27] 蔡晨茵,赵立科,徐慧,等.基于功能价值法的河流生态系统服务价值优化综合评估[J].水电能源科学,2023,41(9):44-47.
- [28] 赵金龙,王涿鑫,韩海荣,等.森林生态系统服务功能价值评估研究进展与趋势[J].生态学杂志,2013,32(8):2229-2237.
- [29] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等.一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J].自然资源学报,2008,23(5):911-919.
- [30] 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.
- [31] 化祥雨,金祥荣,吕海萍,等.高质量发展耦合协调时空格局演化及影响因素:以浙江省县域为例[J].地理科学,2021,41(2):223-231.
- [32] 王浩东,汪妮,汪泉熹.基于时空演变的渭河流域陕西段生态服务价值及区间补偿关系研究[J].水土保持通报,2022,42(6):304-311.
- [33] 朱玉鑫,姚顺波.基于生态系统服务价值变化的环境与经济协调发展研究:以陕西省为例[J].生态学报,2021,41(9):3331-3342.
- [34] 李静芝,王苗,冯文静,等.湘西州地区生态系统服务价值时空特征及驱动分析[J].自然资源遥感,2022,34(3):207-217.
- [35] 陈万旭,刘志玲,李江风,等.长江中游城市群生态系统服务和城镇化之间的空间关系研究[J].生态学报,2020,40(15):5137-5150.
- [36] 张鹏岩,耿文亮,杨丹,等.黄河下游地区土地利用和生态系统服务价值的时空演变[J].农业工程学报,2020,36(11):277-288.
- [37] 马伟波,杨帆,王楠,等.长三角城市群地区生态系统服务价值时空演变及驱动因素研究[J].生态与农村环境学报,2022,38(11):1365-1376.
- [38] 文传浩,张智勇,赵柄鉴.长江上游生态大保护“五域五治”创新模式初探[J].学习与实践,2022(7):54-64.
- [39] 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.
- [40] 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.
- [41] 戚丽萍,栾兆擎,魏勉,等.基于土地利用的江苏省各市生态系统服务价值时空变化研究[J].南京林业大学学报(自然科学版),2023,47(4):200-208.
- [42] 汪瑞,何如海,栾倩,等.安徽省生态系统服务价值估算与时空分异[J].安徽农业大学学报,2015,42(4):613-620.

The Spatial and Temporal Characteristics of the Value of Ecological Products in the Yangtze River Economic Belt Based on Prefecture-Level City Scale

WU Jiajia^a, HE Xiaoqian^b

(a.School of Geosciences;b.School of Economics and Management,East China University of Technology,Nanchang 330013,China)

Abstract: In the context of promoting the protection of the Yangtze River, the spatiotemporal dynamic evolution characteristics of the value of ecological products in the Yangtze River Economic Belt were explored, which can provide useful references for promoting high-quality development of the Yangtze River Economic Belt. Land use data of the Yangtze River Economic Belt from 2005 to 2020 were utilized as the basis, and a modified equivalent factor table is employed to calculate the ecological product value of 130 geographical units of prefecture-level city in the Yangtze River Economic Belt. Spatial statistical analysis methods were used to reveal the spatiotemporal characteristics of the ecological product value in the Yangtze River Economic Belt. The results are as follows. 1) The interannual variation of the total value of ecological products in the Yangtze River Economic Belt is small, and the level of total value is mainly influenced by regional land area and land use type. The value of ecological products per unit area remains relatively stable, and there are significant changes in the types of change rates in some prefecture level cities. The spatial differences in the value of ecological products in urban areas are significant, with a large difference in the total value of ecological products between the upper and lower reaches of the Yangtze River, and a more pronounced difference in the value of ecological products per unit area between the southern and northern regions of the Yangtze River. 2) The hotspots and cold spots of ecological product value per unit area in the Yangtze River Economic Belt show a clustered distribution pattern, with hotspots and sub hotspots widely distributed, and the number of cold spots and sub cold spots decreasing first and then increasing. The center of value of ecological products is located in Changde City, Hunan Province. The spatial distribution pattern of “high in the west and low in the east” has gradually strengthened, and the standard deviation ellipse azimuth has remained relatively stable. 3) There is a significant spatial positive correlation in the ecological product value per unit area of the Yangtze River Economic Belt urban area, and the spatial agglomeration types are mainly “high-high” and “low-low”. The “high-high” agglomeration areas are mainly distributed in the central and western regions of Yunnan Province, the border area between Hunan and Guizhou, the northern part of Jiangxi Province, and the central and western parts of Zhejiang Province, while the “low-low” agglomeration areas are concentrated in the central and eastern parts of Sichuan Province and the northern parts of Jiangsu and Anhui provinces.

Keywords: the value of ecological products; equivalent weight factor table; spatial and temporal characteristics; the Yangtze River Economic Belt