

生态系统服务价值时空分异及驱动因子分析

——以长株潭生态绿心地区为例

胡义萍^{1,2}, 何柯润^{1,2}, 余超^{1,2}, 田朝晖^{1,2}, 刘鹏翱^{1,2}, 周汨^{1,2}

(1. 湖南省国土资源规划院, 长沙 410119; 2. 国土资源评价与利用湖南省重点实验室, 长沙 410119)

摘要: 文章基于长株潭生态绿心地区近 20 年的土地利用数据, 应用 GIS 空间分析和地理探测器, 核算历年生态系统服务价值 (ESV), 定量探讨绿心地区生态系统服务价值时空分布变化特征, 并分析 ESV 变化的主要驱动因子。结果表明: ①林地是影响绿心地区生态系统服务价值变化的主要土地类型。②2000—2020 年, 受政策调控措施的影响, 绿心地区生态系统服务总价值呈先下降再缓慢增长的波动趋势。③长株潭生态绿心地区 ESV 呈现中部、东部及南部区域价值高, 西部、北部价值较低的空间分布特征, 其中石燕湖森林公园、九郎山森林公园、昭山森林公园为最高值分布区域, 靠近长株潭三市主城区的城乡结合区域为最低值分布区域。④地理探测器的深入剖析揭示, 绿心地区生态系统服务价值 (ESV) 的空间分布差异是区域自然、经济、社会三类因素交织影响的综合体现, 其中自然类因素的影响贡献值最大。

关键词: 长株潭生态绿心地区; 生态系统服务价值; 时空分异; 地理探测器

中图分类号: X171; F062.2; F062.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-6995 (2023)

DOI: 10.19676/j.cnki.1672-6995.001195

Spatio-Temporal Differentiation and Driving Factors Analysis of Ecosystem Service Value —A Case Study of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan Ecological Green Heart Area

HU Yiping^{1,2}, HE Kerun^{1,2}, YU Chao^{1,2}, TIAN Zhaohui^{1,2}, LIU Peng'ao^{1,2}, ZHOU Mi^{1,2}

(1. Hunan Institute of Land and Resources Planning, Changsha 410119, China; 2. Hunan Key Laboratory of Land and Resource Evaluation and Utilization, Changsha 410119, China)

Abstract: Based on the land use data of the Changsha-Zhuzhou-Xiangtan **ecological green heart** area in the past 20 years, this paper applies GIS spatial analysis and geographical detectors to calculate the ecosystem service value (ESV) of each year, quantitatively explores the spatio-temporal distribution variation characteristics of the ecosystem service value in the **ecological green heart** area, and analyzes the main driving factors of ESV changes. The results show that: ① Forestland constituted the dominant land-use type that affects the changes in the value of ecosystem services in the green heart area. ② From 2000 to 2020, affected by policy-driven regulation measures, the total value of ecosystem services in the green heart area showed a fluctuating trend of first declining and then slowly growing. ③ The ESV in the **ecological green heart** area of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan shows a spatial distribution feature

收稿日期: 2025-01-16; **修回日期:** 2025-04-02

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目“基于山洪和地质灾害模拟分析的绿心地区‘平急两用’设施布局研究”(2024JJ8352)

作者简介: 胡义萍 (1967—), 女, 湖南省安乡县人, 湖南省国土资源规划院高级会计师, 经济学学士, 主要从事生态经济学研究。

通讯作者: 何柯润 (1979—), 男, 湖南省郴州市人, 湖南省国土资源规划院高级工程师, 理学硕士, 主要从事国土空间评价与规划研究。E-mail: 3644095@qq.com。

of high regional value in the central, eastern and southern regions and relatively low value in the western and northern regions. Specifically, Shiyang Lake Forest Park, Jiulangshan Forest Park and Zhaoshan Forest Park are the areas with the highest value distribution, while the urban-rural fringe areas close to the main urban areas of the three cities of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan are the areas with the lowest value distribution. ④ In-depth analysis by geographical detectors reveals that the spatial distribution differences of ESV in the green heart area are a comprehensive manifestation of the interwoven influence of three types of regional natural, economic and social factors, among which the contribution value of natural factors is the greatest.

Key words: Changsha-Zhuzhou-Xiangtan Ecological Green Heart Area; ecosystem service value; spatio-temporal differentiation; geographical detector

0 引言

生态系统服务作为维系地球生命支持系统及人类福祉的关键自然资本,涵盖了从食品、医药到生产生活原料的供给,维持地球生态平衡,以及适宜人类居住环境的创造与维持^[1]。生态系统服务包括供给服务、调节服务、支持服务和文化服务四大服务功能^[2]。对生态系统服务价值(ESV)的精确评估,不仅是实现环境资源合理配置、推动可持续发展的重要基石^[3],更是制定高效生态环境保护与补偿政策的关键依据。长株潭生态绿心地区(简称“绿心地区”),地处长株潭三市交汇的城乡地带,是三市重要的生态保护屏障^[4]。绿心地区凭借独特的地理位置和政治战略地位,该地区在推动长株潭都市圈一体化发展中扮演着举足轻重的角色。然而,随着长株潭地区的快速发展,保护与发展的矛盾愈发尖锐,绿心地区的生态系统面临着巨大的压力,如何减少对生态系统服务的影响,促进绿心地区可持续发展成为当下的热点问题。因此,深入探究绿心地区生态系统服务价值的时空演变规律及其驱动因素,对于保障该区域生态资产的保值增值具有重大战略意义。

国内对生态系统服务价值的研究起步较晚,20世纪90年代才引入生态系统服务的概念^[5]。但随着全球环境问题的日益突出,生态系统服务研究逐渐引起广泛关注,在研究方法上取得了显著进展^[6]。研究者们运用生态学、地理学、经济学等多学科方法,对生态系统服务的概念、分类、价值评估和生态补偿等方面进行了深入研究,如Costanza等^[7]的研究理论体系及方法在国内得到了广泛应用。近年来,国内研究者开始关注不同生态系统(如湿地、草地、森林、流域、农田等)服务价值的评估方法,并尝试建立更加科学、合理的评估体系^[8]。同时,随着大数据、人工智能等技术的不断发展^[9],研究者们开始探索生态服务价值空间分布格局及其影响因素^[10-12]。其中,黎佳君等^[13]对长株潭绿心地区ESV时空动态变化研究取得显著成果。然而,相关研究大多聚焦于研究区域内生态系统服务价值时空差异性^[14],却鲜有对生态系统服务价值在时空分布特征及驱动因子等进行深入量化分析。地理探测器具备量化评估单一驱动力及多因子交互驱动力的能力,并能确定各因子强度在空间上的差异性^[15],但将地理探测器分析方法应用于生态服务价值空间分异的定量研究并不多见。

鉴于此,本文聚焦长株潭生态绿心地区土地利用变化的实际情况,采用当量因子法,系统分析2000—2020年绿心地区生态系统服务价值的空间分异特征。同时,创新性地运用地理探测器技术,深入探讨影响绿心地区生态系统服务价值变化的关键因子及其空间差异,旨

在揭示研究区域生态系统服务价值变化的驱动机制，为片区规划、环境修复与保护、生态价值转化等提供科学依据与决策支持，以推动绿心地区生态可持续发展。

1 研究区概况

长株潭生态绿心（以下简称“绿心”）是指长沙市、株洲市、湘潭市三市之间的城际生态保护区域。该区域是全国唯一相对完整、具有一定规模，并且能够服务城市群的中央绿心^[16]。共涉及3个市11个县（市、区）、26个乡镇（街道）和127个行政村（社区、林场），总面积约530km²。绿心自然本底优良，山水资源丰富，中部有石燕湖森林公园、昭山森林公园、玉屏峰，东部有浏阳河、云峰湖，西部有昭山风景区、仰天湖、湘江等重要资源点，南部有九郎山森林公园、法华山森林公园、栖霞山森林公园，间隔分布农田、苗木基地等景观。从2005年开始，绿心在长株潭城市区域规划中首次提出，2011年和2013年先后出台《长株潭城市群生态绿心地区总体规划（2010—2030）》（以下简称《绿心规划》）、《湖南省长株潭城市群生态绿心地区保护条例》^[17]（以下简称《绿心条例》），探索构建了保护绿心的制度构架，生态保护的力度不断加强，绿心作为长株潭城市群生态屏障的作用日益巩固^[18]，但绿心地区人地矛盾依然激烈，尤其与三市衔接的边缘区域城市化趋势越来越凸显，对生态系统服务价值的影响也日渐明显。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源及处理

土地利用分类数据主要来源于中国资源环境科学与数据中心平台2000年、2005年、2010年、2015年和2020年的土地覆被数据，空间分辨率为30m，为便于衔接后续国土空间分析及模型计算需要，将土地利用类型分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地6个大类^[19]；粮食产量、林产品、水产品、人口、农村居民人均可支配收入、社会消费品零售额、人均地区生产总值等社会经济数据，主要来源于2000—2020年湖南省及长株潭三市统计年鉴和《全国农产品成本收益资料汇编》。利用GIS软件对DEM数据进行叠加分析、缓冲区分析，处理生成坡度、坡向等派生数据。利用Excel、SPSS等软件对统计年鉴数据进行平均值、标准差等进行计算，并对数据进行系统分析。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用动态分析法

土地利用类型动态度是指某区域在一定时间内某种土地利用类型的数量变化情况，用以反映人类活动对单一土地利用类型的影响，以及该类型土地利用在时间和空间上的动态变化，计算公式如下：

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

式中： K 为某一土地类型动态度； U_a 为研究时段内起始年该土地利用类型的面积， U_b 为研究结束年该土地利用类型的面积，面积单位为hm²； T 为研究年限。

2.2.2 当量因子计算法

参考谢高地等^[20]在生态系统价值计算方面的研究成果,因生态绿心地区的气候、土壤条件及市场需求关系等与参考标准计算的区域存在差异,结合研究区域的实际情况对单位当量因子的价值进行调整(表1)。

表1 绿心生态系统服务价值当量

生态系统服务		耕地	林地	草地	水域	建设用地	裸地
供给服务	食物生产	1.36	0.82	0.60	0.66	0	0.01
	原料生产	0.09	1.89	0.89	0.37	0	0.03
	水资源供给	2.63	0.98	0.49	5.44	0	0.02
调节服务	气体调节	1.11	6.22	3.11	1.34	0	0.11
	气候调节	0.57	18.60	8.23	2.95	0	0.10
	净化环境	0.17	5.41	2.72	4.58	0	0.31
	水文调节	2.72	11.59	6.03	63.24	0	0.21
支持服务	土壤保持	0.01	7.57	3.79	1.62	0	0.13
	维持养分	0.19	0.58	0.29	0.13	0	0.01
	生物多样性	0.21	6.89	3.45	5.21	0	0.12
文化服务	美学景观	0.09	3.02	1.52	3.31	0	0.05

在表1的基础上进行研究区域各土地类型的价值系数计算,生态系统服务价值的估算模型如下:

$$ESV = \sum A_k \times VC_k \quad (2)$$

式中: ESV 为生态系统服务总价值,单位为元; A_k 为第 k 种土地利用类型的面积,单位为 hm^2 ; VC_k 为第 k 种土地利用类型的价值系数,单位为元 $\cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

2.2.3 地理探测器

地理探测器是一种用于探测空间分异性及揭示其背后驱动因子的统计学方法^[21-22]。采用地理探测器模型对驱动 ESV 空间分异的自然、社会和经济三类因子进行探测,公式如下:

$$q = 1 - \frac{1}{N\sigma^2} \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2 \quad (3)$$

式中: q 为某因子对 ESV 空间分异的影响力,取值范围为 $[0, 1]$, q 值越大,该因子对 ESV 空间分异的影响越大,反之则影响越小; σ_h^2 和 σ^2 分别为评价单元 h 和全区域 ESV 的方差; N 为研究区的评价单元样本数。

3 结果与分析

3.1 土地利用动态变化

通过 GIS 对土地利用类型数据的分析发现,绿心地区土地利用结构以林地为主,主要分布在绿心中部和东部区域,其占比超过 50%,其次是耕地和建设用地。2000—2010 年,建设用地面积显著增加,主要分布在长沙和湘潭临湘江区域。

通过对土地利用数据的初步分析可知,2000—2010 年,林地和水域面积急剧下降,而耕地和建设用地面积急剧上升;2010 年以后,林地和水域面积缓慢上升,建设用地面积增速明显减缓,耕地面积呈下降趋势(图1)。

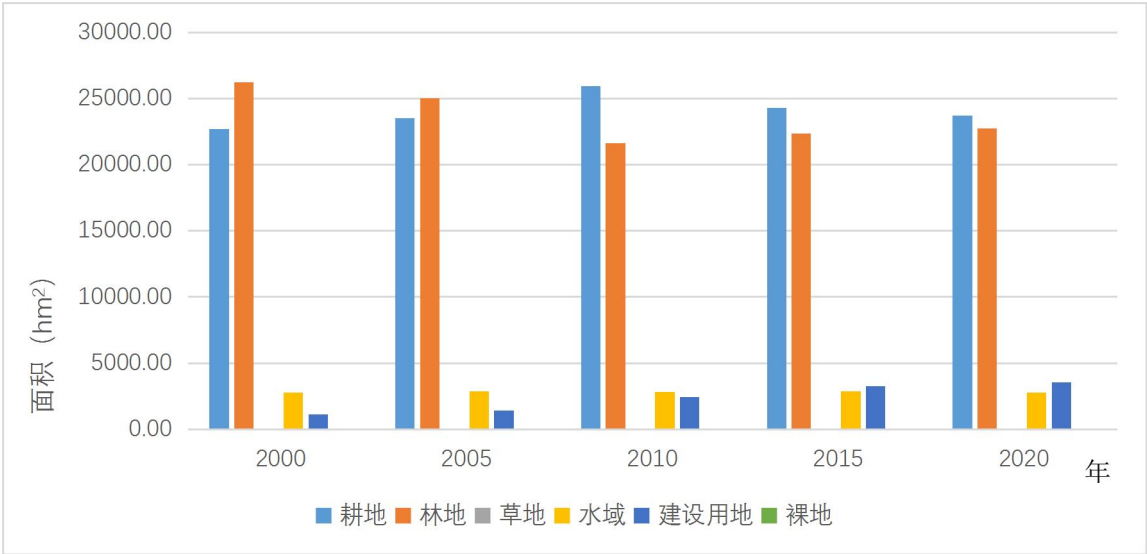


图 1 2000—2020 年绿心地区土地利用变化

通过公式（1）的计算分析，从单一土地利用动态度来看，2000—2020 年，绿心地区建设用地变化最剧烈，动态度达 2.14%，其次是裸地动态度为 0.55%。2000—2010 年，建设用地变化幅度很大，2010 年以后变化幅度逐渐减小，其中 2015—2020 年动态度为 0.08%，下降明显；林地面积在 2010 年以前大幅下降，2010 年以后缓慢增加（表 2、表 3）。

表 2 2000—2020 年绿心地区土地利用类型

单位：hm²

年份	耕地	林地	草地	水域	建设用地	裸地
2000 年	22670.07	26200.06	11.73	2807.48	1136.40	6.84
2005 年	23496.44	25026.67	8.10	2860.25	1437.91	3.21
2010 年	25941.24	21611.05	7.29	2834.82	2436.93	1.26
2015 年	26682.93	19990.82	4.59	2863.35	3288.69	2.21
2020 年	24903.54	21560.35	1.62	2797.74	3566.25	3.09

表 3 2000—2020 年绿心地区土地利用变化动态度

单位：%

年份区间	耕地	林地	草地	水域	建设用地	裸地
2000—2005 年	0.04	-0.04	-0.31	0.02	0.27	-0.53
2005—2010 年	0.10	-0.14	-0.10	-0.01	0.69	-0.61
2010—2015 年	-0.06	0.04	-0.37	0.01	0.35	0.75
2015—2020 年	-0.02	0.02	-0.65	-0.02	0.08	0.40
2000—2020 年	0.10	-0.18	-0.86	-0.01	2.14	-0.55

由表 3 可知，2010 年之前，大部分土地利用动态度绝对值都大于 0.10%，表明 2010 年以前土地利用变化相对剧烈，尤其是裸地、建设用地、草地三类土地表现明显；2010 年之后，土地利用动态度绝对值明显变小，建设用地面积增长速度大幅减缓。这表明《绿心规划》和《绿心条例》相继颁布实施以来，2010 年后绿心地区土地类型利用变化速度减缓，突出了“保护优先”的原则。草地面积急剧减少与绿心苗木基地扩张等原因有关。

3.2 绿心地区生态系统服务价值时空变化

3.2.1 绿心地区生态系统服务价值时间变化分析

根据当量因子法，以绿心地区土地利用类型为原始数据，运用公式（2）计算得到绿心地区 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2020 年的 ESV 分别是 359597.87 万元、349016.49 万元、315635.33 万元、299751.64 万元、312893.37 万元。由此可见，绿心地区生态系统服务价值整体呈先下降后逐步上升的趋势。2000—2015 年，ESV 降低了 59846.23 万元，降低 16.6%；2015—2020 年，ESV 升高了 13141.73 万元，上升幅度为 4.3%。其中，林地生态系统服务价值量最高，占比达 70%以上；其次是水域和耕地，分别占比在 10%左右；建设用地提供的生态服务价值为 0（表 4）。

表 4 绿心地区 2000—2020 年 ESV 值变化表

单位：万元

年份	总计	耕地	林地	草地	水域	建设用地	裸地
2000 年	359597.87	35140.26	282153.55	61.83	42240.96	0.00	1.27
2005 年	349016.49	36421.19	269516.99	42.72	43034.99	0.00	0.60
2010 年	315635.33	40210.81	232733.53	38.43	42652.33	0.00	0.23
2015 年	299751.64	41360.48	215284.96	24.20	43081.59	0.00	0.41
2020 年	312893.37	38602.30	232187.53	8.54	42094.43	0.00	0.58
2000—2015 年	-59846.23	6220.22	-66868.59	-37.63	840.63	0.00	-0.86
2015—2020 年	13141.73	-2758.18	16902.57	-15.66	-987.16	0.00	0.16

3.2.2 绿心地区生态系统服务价值空间变化分析

由数据分析可知，长株潭绿心地区 ESV 的高值区主要位于石燕湖森林公园、昭山森林公园、东风水库、九郎山森林公园、法华山森林公园、汪家岭等山林地区，以及湘江、浏阳河沿岸区域；中值区主要分布在东部、东南部的乡村集中地区；低值区主要位于靠近长株潭三市城区城镇开发边界的范围。从 2000—2020 年 ESV 空间分布变化可以看出，生态系统服务价值稳定区主要集中在石燕湖森林公园、昭山森林公园、九郎山森林公园，以及湘江、浏阳河等区域；上升区主要为东部、东南部的乡村地区；下降区主要为长沙暮云片区、湘潭岳塘片区、株洲云龙片区。

3.3 土地生态系统服务价值驱动因子分析

3.3.1 模型分析及其标准化效应

为了深入探究绿心地区生态系统服务价值（ESV）的驱动因素，本文在参考岳书平等^[23]研究成果的基础上，结合数据的可获取性，选取 9 个关键变量进行分析，以期全面评估这些因素对绿心地区 ESV 的影响。具体纳入了 6 个自然因子：高程（X1）、地形起伏度（X2）、年平均气温（X3）、年平均降水（X4）、归一化植被指数（X5）、生境质量（X6）；1 个经济因子：地均 GDP（X7）；以及 2 个社会因子：人口密度（X8）、夜间灯光指数（X9）。本文选取 AESV 作为自变量，将前述的影响因子设定为因变量，借助地理探测（GeoDetector）软件中的“因子探测”模块与“交互作用探测”模块，进行定量分析，旨在揭示绿心区域生态系统服务价值（ESV）空间分布的主要驱动因素，以及驱动因素间相互作用的特性。经过分析得出关于绿心区域调整后生态系统服务价值（AESV）空间分布差异的因子探测结果，以

及各因子间交互影响的探测结果（表 5、表 6）。

表 5 绿心生态系统服务价值空间分异的因子探测结果

	高程 (X1)	地形起伏度 (X2)	年平均气温 (X3)	年平均降水 (X4)	归一化植被 指数 (X5)	生境质量 (X6)	地均 GDP (X7)	人口密度 (X8)	夜间灯光 指数 (X9)
qstatistic	0.084	0.102	0.090	0.090	0.168	0.043	0.037	0.029	0.082
pvalue	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.044	0.041	0.082	0.000

表 6 绿心生态系统服务价值空间分异的因子交互探测结果

	高程 (X1)	地形起伏度 (X2)	年平均气温 (X3)	年平均降水 (X4)	归一化植被 指数 (X5)	生境质量 (X6)	地均 GDP (X7)	人口密度 (X8)	夜间灯光 指数 (X9)
高程 (X1)	0.085								
地形起伏度 (X2)	0.143	0.103							
年平均气温 (X3)	0.164	0.184	0.090						
年平均降水 (X4)	0.164	0.184	0.092	0.090					
归一化植被 指数 (X5)	0.236	0.284	0.239	0.239	0.169				
生境质量 (X6)	0.164	0.184	0.146	0.146	0.254	0.044			
地均 GDP (X7)	0.169	0.231	0.104	0.104	0.221	0.138	0.037		
人口密度 (X8)	0.105	0.124	0.120	0.120	0.195	0.071	0.089	0.029	
夜间灯光指 数 (X9)	0.199	0.256	0.146	0.146	0.250	0.139	0.133	0.114	0.082

根据探测结果分析可知，各驱动因子对绿心地区 ESV 时空分异的解释力差异不大。生境质量、地均 GDP、人口密度 3 个因子受数据收集难度影响，可解释力强度较低，其他因子解释力强度基本一致。就单因子影响力而言，所选取的 9 个驱动因子影响力大小排序为：归一化植被指数 (X5) > 地形起伏度 (X2) > 年平均气温 (X3) > 年平均降水 (X4) > 高程 (X1) > 夜间灯光指数 (X9) > 生境质量 (X6) > 地均 GDP (X7) > 人口密度 (X8)。

根据交互探测结果可知，各驱动因子呈现双因子增强和非线性增强作用，表明任意两个驱动因子的交互作用对绿心地区 ESV 的影响力均大于单一因子的影响力，说明 ESV 变化是多种因子综合作用的结果。其中交互作用影响力最大的是归一化植被指数与地形起伏度两个驱动因子。总体而言，绿心地区 ESV 时空分异是多因子共同驱动的结果，在保护与发展中应综合考虑各驱动因素的影响，以促进绿心可持续发展。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文以长株潭生态绿心地区为研究对象，定量分析了绿心地区生态系统服务价值的时空变化情况，探讨了影响生态系统服务价值变化的影响因子重要性，可为未来绿心地区生态保护与发展提供重要参考。

（1）2000—2015 年，绿心地区生态系统服务总价值下降了 16.6%，生态系统服务价值明显呈现急剧下降的趋势；2015—2020 年，绿心地区生态系统服务总价值上升了 4.3%，2010 年后《绿心规划》和《绿心条例》相继实施，生态系统服务价值开始回升。

(2) 区域生态系统服务价值的空间分异明显, 高值分布区主要在湘江沿岸、浏阳河沿岸、石燕湖森林公园、昭山森林公园等中部地区, 低值分布区主要在临近长株潭主城区的城乡结合部。

(3) 单一驱动因子对绿心地区生态系统服务价值时空分异影响强度均小于多驱动因子交互影响, 自然类因素影响强度大于经济类因素, 其中归一化植被指数与地形起伏度两个驱动因子交互作用对生态系统服务价值时空分异影响最强。

4.2 讨论

(1) 本文采用当量因子法测算生态系统服务价值量, 并根据绿心地区实际情况对当量因子进行了调整, 测算结果基本合理。但生态系统本身具有多样性与复杂性, 加上 ESV 计算模型和方法多样, 其价值评估结果存在较大差异, 因此其计算方法及参考指标数据仍有完善的空间^[24]。

(2) 自然因素的保护是绿心地区生态系统服务价值增值的关键。在长株潭融城建设中, 严格保护绿心地区的自然资源要素, 加强已开发区域生态系统的近自然恢复, 是恢复和保育绿心地区生态系统服务的有效途径^[25]。

(3) 绿心地区生态系统服务价值的变化受自然、经济、社会因素综合影响, 归一化植被指数与地形起伏度是影响研究区生态系统服务价值变化的主要交互驱动因子。

参考文献

- [1]秦艳丽, 时鹏, 何文虹, 等. 西安市城市化对景观格局及生态系统服务价值的影响[J]. 生态学报, 2020(22):1-12.
- [2]吴次芳, 宋戈. 土地利用学[M]. 北京:科学出版社, 2009:17-19.
- [3]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(5):911-919.
- [4]刘思华, 罗杨, 肖英. 长株潭“绿心”的生态价值研究[J]. 湖南社会科学, 2011(5):125-127.
- [5]欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报, 1999, 19(5):19-25.
- [6]仇晓璐, 赵荣, 陈绍志. 生态产品价值实现研究综述[J]. 林产工业, 2023, 60(12):79-84.
- [7]COSTANZA R. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. World Environment, 1999(2):5-8.
- [8]许倍慎, 周勇, 徐理, 等. 湖北省潜江市生态系统服务功能价值空间特征[J]. 生态学报, 2011, 31(24):7379-7387.
- [9]周鸿翔. 基于 3S 技术开展土地利用动态监测综述[J]. 测绘与空间地理信息, 2019, 42(6):56-57, 63.
- [10]张瑜, 赵晓丽, 左丽君, 等. 黄土高原土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. 国土资源遥感, 2019, 31(3):132-139.
- [11]胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等. 城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利

- 用程度的响应[J]. 生态学报, 2013, 33(8):2565-2576.
- [12] 陈美球, 赵宝苹, 罗志军, 等. 基于 RS 与 GIS 的赣江上游流域生态系统服务价值变化[J]. 生态学报, 2013, 33(9):2761-2767.
- [13] 黎佳君, 廖秋林, 沈守云, 等. 长株潭城市群绿心地区生态系统服务价值时空变化研究[J]. 中国园林, 2022, 38(1):100-105.
- [14] 李孝永, 匡文慧. 京津冀 1980—2015 年城市土地利用变化时空轨迹及未来情景模拟[J]. 经济地理, 2019, 39(3):187-194, 200.
- [15] 郭健斌, 张英, 张志伟, 等. 基于地理探测器的藏东南高山峡谷区土地利用变化及其驱动机制:以西藏林芝市为例[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(4):210-226.
- [16] 左兰兰. 长株潭城市群生态绿心景观生态网络的构建与应用[D]. 长沙:湖南农业大学, 2013.
- [17] 湖南省自然资源厅. 长株潭城市群生态绿心地区总体规划(2010—2030)(2018 年修改)[EB/OL]. (2019-09-25) [2025-02-10]. http://zrzyt.hunan.gov.cn/zrzyt/ztzl/hbdcht k/tzwj/202007/t20200727_13086369.html.
- [18] 罗佳, 周小玲, 黎蕾, 等. 长株潭城市群生态绿心地区森林生态系统服务功能评估[J]. 湖南林业科技, 2021, 48(6):50-56.
- [19] 邓楚雄, 钟小龙, 谢炳庚, 等. 洞庭湖区土地生态系统的服务价值时空变化[J]. 地理研究, 38(4):844-855.
- [20] 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.
- [21] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1):116-134.
- [22] 赖国华, 胡宝清, 李敏, 等. 桂西南-北部湾地区“三生”用地演变及其驱动力的地理探测[J]. 水土保持研究, 2021, 28(4):236-243.
- [23] 岳书平, 张树文, 闫业超. 东北样带土地利用变化对生态服务价值的影响[J]. 地理学报, 2007, 62(8):879-886.
- [24] 郭妍, 苏子龙, 范振林, 等. 生态产品价值核算研究进展与应用展望[J]. 中国国土资源经济, 2024, 37(1):29-38.
- [25] 张晓蕾, 严长清, 金志丰. 自然资源领域生态产品价值实现制度设计[J]. 中国国土资源经济, 2022, 35(7):20-26.