

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2024.03.028.

马舒意, 黄小兰, 黄晶. 环鄱阳湖城市群生态系统服务价值时空变化及权衡协同关系[J]. 水土保持研究, 2024, 31(3): 391-400.

Ma Shuyi, Huang Xiaolan, Huang Jing. Temporal and Spatial Variation of Ecosystem Service Value and Its Trade-offs and Synergies in the Urban Agglomeration Around Poyang Lake[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(3): 391-400.

环鄱阳湖城市群生态系统服务价值 时空变化及权衡协同关系

马舒意¹, 黄小兰¹, 黄晶²

(1. 东华理工大学 地球科学学院 南昌 330013; 2. 江西省国土空间调查规划研究院, 南昌 330001)

摘要: [目的] 量化和分析环鄱阳湖城市群生态系统服务价值及时空变化, 探讨其生态系统服务之间的权衡协同关系, 为区域生态环境保护与修复提供决策参考。[方法] 以环鄱阳湖城市群 2000 年、2010 年和 2020 年 3 期土地利用数据为依据, 采用 ESV 当量因子法、生态贡献率以及生态系统服务权衡协同度模型等方法, 探讨环鄱阳湖城市群 ESV 时空变化以及生态系统服务之间的权衡协同关系。[结果] (1) 2000 年、2010 年和 2020 年环鄱阳湖城市群生态系统服务价值分别为 4 163.50 亿元、4 219.53 亿元、4 202.93 亿元, 整体呈先增后减的变化特征。研究期间各地类中林地的 ESV 最大, 在单项服务功能中水文调节的 ESV 最大。(2) ESV 空间分布格局较为稳定, 中高值格网分布于大型湖泊水库以及水系主干道, 低值格网分布于城镇建成区和耕地开发程度高的乡村聚集区。ESV 增加的区域主要为鄱阳湖外围, ESV 减少的区域为南昌市区、九江市东北部、鹰潭市等区县的城镇建成区。(3) 水域对 ESV 变化的贡献率最大, 是影响环鄱阳湖城市群 ESV 增减变化的主要因素。(4) 研究时段内协同关系为生态系统服务之间的主导关系, 权衡关系集中存在于水资源供给、净化环境、水文调节与其他生态系统服务功能之间。[结论] 修复和保护水域和林地, 严格管控建设用地扩张是维护环鄱阳湖城市群 ESV 良性增长和生态安全的有效措施。

关键词: 生态系统服务价值; 时空演变; 贡献率; 生态系统服务权衡协同度; 环鄱阳湖城市群

中图分类号: X826

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2024)03-0391-10

Temporal and Spatial Variation of Ecosystem Service Value and Its Trade-offs and Synergies in the Urban Agglomeration Around Poyang Lake

Ma Shuyi¹, Huang Xiaolan¹, Huang Jing²

(1. School of Geosciences, East China University of Technology, Nanchang 330013, China;

2. Institute of Territorial Spatial Survey and Planning of Jiangxi Province, Nanchang 330001, China)

Abstract: [Objective] This study aims to quantify and analyze the temporal and spatial changes of ecosystem service value in the urban agglomeration around Poyang Lake, and to explore the trade-off and synergy between ecosystem services, which provides decision-making reference for regional ecological environmental protection and restoration. [Methods] Based on the land use data of the Poyang Lake urban agglomeration in the years 2000, 2010, and 2020, this study employed methods such as the Equivalent Service Value (ESV) factor approach, ecological contribution rate, and the ecosystem service balance and synergy model to investigate the spatiotemporal variations in the ecosystem service values (ESV) and the balanced and synergistic relationships among ecosystem services in the Poyang Lake urban agglomeration. [Results] (1) In 2000, 2010 and 2020, the ecosystem service value of the urban agglomeration around Poyang Lake was 416.350 billion yuan, 421.953 billion yuan and 420.293 billion yuan, respectively. During the study period, the ESV of forestland was the largest, and the ESV of hydrological regulation was the

收稿日期: 2023-05-30

修回日期: 2023-06-21

资助项目: 国家自然科学基金(42061041, 41561002); 东华理工大学博士科研启动基金(DHBK2019404)

第一作者: 马舒意(1997—), 女, 河南周口人, 硕士研究生, 研究方向为土地资源管理。E-mail: m1754825829@163.com

通信作者: 黄小兰(1968—), 女, 江西石城人, 博士, 教授, 研究方向为自然地理、土地资源管理。E-mail: huangxiaolanlan@163.com

<http://stbcyj.paperonce.org>

largest among the single service functions. (2) The spatial distribution pattern of ESV was relatively stable, with the medium and high value grids distribution in large lakes, reservoirs and main roads of water systems, and the low value grids distribution in urban built-up areas and rural agglomeration areas with high cultivated land development. The areas with an increase in ESV were mainly in the periphery of Poyang Lake, and the areas with a decrease in ESV were in the urban built-up areas of Nanchang City, the northeast of Jiujiang City, Yingtan City and other districts and counties. (3) Water area contributed the most to ESV change, which was the main factor affecting the increase and decrease of ESV in the urban agglomeration around Poyang Lake. (4) The synergistic relationship was the dominant relationship between ecosystem services during the study period, and the trade-off relationship mainly existed between water supply, environmental purification, hydrological regulation and other ecosystem service functions. [Conclusion] Restoring and protecting waters, forests and grasslands, and strictly controlling the expansion of construction land are the effective measures to maintain the benign growth of ESV and ecological security of the urban agglomeration around Poyang Lake.

Keywords: value of ecosystem service; spatiotemporal evolution; contribution rate; trade-offs in ecosystem service; urban agglomeration around Poyang Lake

生态系统服务是人类从生态系统中直接或间接获得的各种有形和无形的惠益^[1],表征了区域生态文明建设与可持续发展的现状^[2],包括供给服务、调节服务、支持服务和文化服务 4 个方面^[3]。1997 年 Costanza 等^[4-5]最早提出了生态系统服务价值(Ecosystem Service Value, ESV)估算原理及方法,并以货币形式对全球 ESV 进行评估。迄今为止,ESV 的估算方法主要为单位功能价值法和单位面积当量因子法,后者更直观易用、便于计算,适用于大尺度的区域 ESV 评估^[6-8],是目前使用最多的评估方法,也被学界广泛认可^[9-10]。同年, Pimentel 等^[11]在 Costanza 研究的基础上,对生物多样性的环境生态效益和经济价值展开了研究。1999 年欧阳志云等^[12]评估了国内陆地生态系统,发现其具有巨大的生态经济效益;2003 年谢高地等^[13]借鉴 Costanza 等的研究并结合中国国情,提出了当量因子法,并进行多次修正^[14-15],制定出“中国陆地生态系统服务价值基础当量表”,在国内不同尺度 ESV 评估中得到广泛运用。

在人口增长、城镇化进程加速和社会经济发展的作用下,土地利用/覆被发生的变化较为剧烈,成为影响生态系统服务功能的主要驱动因子,迫使生态系统服务发生变化^[16-18]。各类生态系统服务随着时间的推移,在动态变化过程中客观存在着的相互关系既紧密又复杂,主要表现为此消彼长的权衡、同增同减的协同两种关系^[19]。厘清生态系统服务之间的动态关联,正确认知生态系统服务之间的权衡协同关系,有助于理解不同生态系统服务之间的驱动因子以及影响机制^[20],对于开展各种生态系统服务可持续发展的管理决策具有指导意义^[21]。

环鄱阳湖城市群作为长江中游城市群的重要组成部分,江西省十分重视该区域的生态文明建设。在《环鄱阳湖生态城市群规划(2015—2030 年)》中,明确提出了要将环鄱阳湖城市群打造成国家绿色城镇化先导区。在推动城市群经济高质量发展的同时,也要优化国土空间布局和注重生态环境的绿色可持续发展^[22-23]。然而伴随着城镇化的进程加快,该区生态系统结构遭到破坏,部分湿地退化,生态风险加剧,已经威胁到城市群的生态安全^[24]。鉴于此,本研究以环鄱阳湖城市群为研究区域,采用修正后的当量因子表以及 2000—2020 年 3 期土地利用数据,以 3 km×3 km 格网为计算单元估算环鄱阳湖城市群生态系统服务价值以及时空变化特征,利用生态贡献率模型分析影响 ESV 变化的主要因素,并引用敏感性指数检验 ESV 测算的合理性,最后采用权衡协同度模型对 11 项生态服务功能之间的权衡协同关系进行量化,以为推动环鄱阳湖城市群绿色发展以及探索大湖流域地区的社会经济与生态环境保护协调发展提供一定参考依据。

1 研究区概况和数据来源

1.1 研究区概况

环鄱阳湖城市群位于江西省北部(113°34′—118°28′E, 26°57′—30°04′N)(图 1),属于亚热带湿润季风气候,气候温和,降雨量充沛^[25]。研究区包括南昌、九江、景德镇、上饶、鹰潭、宜春、新余、萍乡等地级市全部行政辖区和抚州市辖区、东乡县、金溪县、崇仁县,吉安的新干县、峡江县,区域总面积 9.23 万 km²。地形以平原、丘陵为主,两边高中间低,东西两侧多为山地、

丘陵,海拔较高,中部丘陵平原相间,海拔相对较低,土地利用结构以林地为主,覆盖率超过 50%。区域内水系密布、河湖众多,鄱阳湖以及赣、抚、信、饶、修五大河流均囊括其中,对调节长江水位、维护生态平衡和生物多样性等具有重要意义。

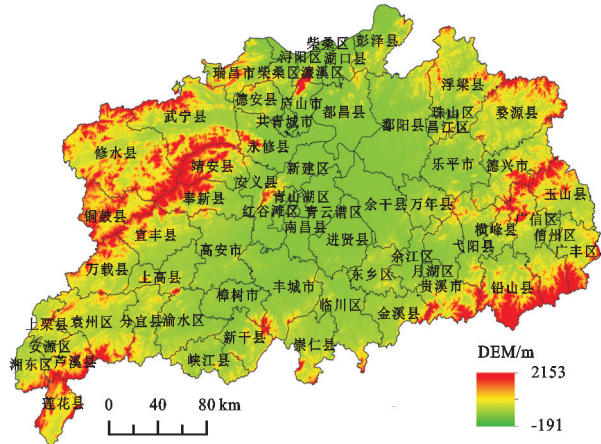


图 1 环鄱阳湖城市群地理位置
Fig. 1 The location of the urban agglomeration around Poyang Lake

1.2 数据来源

环鄱阳湖城市群 2000 年、2010 年、2020 年的土地利用数据,均来自中国科学院资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn/>),空间分辨率为 30 m×30 m。参考国家标准 GB/T21010-2007《土地利用现状分类》并结合研究区实际情况将土地利用类型分为耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地 6 个地类。ESV 计算所用到的粮食价格、单位面积产量等社会经济数据来源于《江西统计年鉴》、《全国农产品成本收益资料汇编》。根据前人研究^[26],将建设用地的生态系统

服务价值系数设为 0,未纳入 ESV 计算中。

1.3 研究方法

1.3.1 生态系统服务价值估算 参考 Costanza 等^[4]的 ESV 评估方法,基于谢高地等^[14-15]修订的全国陆地生态系统服务价值单量因子表,考虑到 ESV 的时空异质性,并且谢高地的当量因子表为全国平均价值量,所以结合研究区实际生产能力,采用粮食产量修正方法将单位当量因子价值修正为研究区水平^[13]。

根据江西省 2000—2020 年主要农作物(稻谷、大豆)的播种面积、单位面积产量,为消除不同年份农作物价格波动对总价值的影响,采用 2020 年江西省平均粮食单价,计算出研究区 1 个当量因子的经济价值量为 2 156.32 元/hm²。计算公式如下:

$$E_a = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^n \frac{m_i p_i q_i}{M} \quad (i=1, \dots, n) \tag{1}$$

式中: E_a 为研究区单位面积生态服务当量系数的经济价值; m_i 为第 i 种粮食种植面积(hm²); p_i 为第 i 种粮食单产(kg/hm²); q_i 为第 i 种粮食均价(元/kg); M 为所有粮食种植总面积;测算得出研究区单位面积生态系统服务价值系数(表 1)。

ESV 计算公式如下:

$$ESV = \sum A_i \times VC_i \tag{2}$$

$$ESV_f = \sum A_{if} \times VC_{if} \tag{3}$$

式中:ESV 代表区域生态系统服务总价值(元); A_i 为地类 i 的面积(hm²); VC_i 为地类 i 的生态服务功能价值系数(元/hm²); ESV_f 为生态系统第 f 项服务功能价值(元); VC_{if} 为地类 i 的第 f 项生态服务功能价值系数(元/hm²)。

表 1 环鄱阳湖城市群各地类单位面积生态系统服务价值系数

Table 1 Value coefficient of ecosystem services per unit area in the urban agglomeration around Poyang Lake

元/(hm²·a)

一级类型	二级类型	土地利用类型				
		耕地	林地	草地	水域	未利用地
供给服务	食物生产	2382.73	567.83	567.83	1725.06	0.00
	原料生产	528.30	1293.79	959.56	495.95	0.00
	水资源供给	−2814.00	668.46	528.30	17875.90	0.00
调节服务	气体调节	1919.13	4262.33	3353.08	1660.37	43.13
	气候调节	1002.69	12765.42	8873.26	4937.97	0.00
	净化环境	291.10	3737.62	2932.60	11967.58	215.63
	水文调节	3223.70	8337.77	6501.31	220462.23	64.69
支持服务	土壤保持	1121.29	5196.73	4086.23	2005.38	43.13
	维持养分循环	334.23	395.33	312.67	150.94	0.00
	生物多样性	366.57	4729.53	3719.65	5498.62	43.13
文化服务	美学景观	161.72	2077.26	1638.80	4075.45	21.56
总计		8517.47	44032.07	33473.29	270855.45	431.26

1.3.2 生态敏感性分析 为了检验研究区的 ESV 测算是否合理,引入经济学中弹性系数进行敏感性指数^[27](Coefficient of Sensitivity, CS)分析。若 $CS > 1$,表明 ESV 对 VC 是富有弹性的,其计算结果准确性较差;若 $CS < 1$,则表明 ESV 对 VC 缺乏弹性,计算结果可信。计算公式如下^[28]:

$$CS = \left| \frac{(ESV_b - ESV_a) / ESV_a}{(VC_{bl} - VC_{al}) / VC_{al}} \right| \quad (4)$$

式中:CS 代表敏感性指数;ESV_a 与 ESV_b 分别表示初始的及调整后的生态系统服务价值;VC_{al} 与 VC_{bl} 表示初始的和调整后(±50%)的生态系统服务价值系数。

1.3.3 生态贡献率 生态贡献率表征某一时段内不同地类产生的 ESV 变化量对总 ESV 变化量的影响,其大小可用来展示影响区域 ESV 变化的主要贡献因子^[8]。计算公式如下:

$$E_{it} = \frac{|\Delta ESV_{it}|}{\sum_{i=1}^6 |\Delta ESV_{it}|} \quad (5)$$

式中: E_{it} 表示第 i 类生态系统在时间段 t 内的生态贡献率; ΔESV_{it} 为第 i 类生态系统在时间段 t 内的 ESV 变化量。

1.3.4 生态系统服务权衡协同度 生态系统服务权衡协同度(Ecosystem Services Trade-off Degree, ESTD)是建立在数据线性拟合的基础之上,反映生态系统服务之间相互关系的方法^[29]。计算公式如下:

$$ESCI_i = (ES_{ia} - ES_{ib}) / ES_{ib} \quad (6)$$

$$ESTD_{ij} = (ESCI_i / ESCI_j + ESCI_j / ESCI_i) / 2 \quad (7)$$

式中:ES_{ia}, ES_{ib} 分别为 a, b 时刻第 i 种生态系统服务的值;ESCI_i, ESCI_j 分别是第 i, j 种生态系统服务的变化指数(ecosystem services change index, ESCI);ESTD_{ij} 表示第 i, j 种生态系统服务之间的权衡协同度,若 ESTD_{ij} > 0,表示第 i 与 j 种生态系统服务为协同关系,若 ESTD_{ij} < 0,表示两者之间为权衡关系,ESTD 绝对值的大小反映了权衡/协同水平。

表 2 2000—2020 年环鄱阳湖城市群各地类生态系统服务价值及变化

Table 2 Value and change of ecosystem services in various regions of the Poyang Lake urban agglomeration from 2000 to 2020

土地类型	ESV/亿元			变化幅度/%		
	2000 年	2010 年	2020 年	2000—2010 年	2010—2020 年	2000—2020 年
耕地	257.08	253.81	248.97	-1.27	-1.91	-3.15
林地	2207.26	2200.68	2178.02	-0.30	-1.03	-1.32
草地	104.84	94.73	96.55	-9.64	1.92	-7.91
水域	1593.93	1670.07	1679.17	4.78	0.54	5.35
未利用地	0.40	0.24	0.23	-40.66	-2.60	-42.21
总计	4163.50	4219.53	4202.93	1.35	-0.39	0.95

如表 3 所示,在一级服务中,调节服务功能占绝对优势,各时期占总 ESV 的比例都在 75% 以上;支

2 结果与分析

2.1 生态系统服务价值时空变化

2.1.1 生态系统服务价值时间变化 环鄱阳湖城市群 ESV 计算结果显示(表 2),2000—2020 年研究区 ESV 呈现先上升后下降的趋势,但 ESV 总量是增加的,从 2000 年的 4 163.50 亿元增至 2020 年的 4 202.93 亿元,共增加 39.43 亿元,增幅为 0.95%。从各类土地的生态系统服务价值来看,各地类中林地的 ESV 占比最大,3 个时期均占总 ESV 的 50% 以上,其次是水域,多年平均占比为 39.27%。从 ESV 变化来看,2000—2010 年,ESV 总量共增加 56.03 亿元,仅水域 ESV 增长 76.14 亿元,这可能是因为 1998 年长江发生特大洪涝灾害,鄱阳湖流域推行了“平垸行洪、退田还湖、移民建镇”政策,以及“山江湖”工程和“退田还湖”政策的实施,大量未利用地和耕地转为水域,而水域的单位面积价值系数又远远高于耕地和未利用地,所以出现这一结果。2010—2020 年,ESV 总量共减少 16.6 亿元,主要是由于耕地和林地 ESV 减少,这可能是因为 2009 年鄱阳湖生态经济区上升为国家战略以及昌九一体化发展规划,导致大量耕地和林地转为建设用地,所以表现为 ESV 总量减少。近 20 年各地类 ESV 增减趋势不同,其中耕地、林地、未利用地 ESV 持续减少,依次减少 8.11 亿元、29.24 亿元、0.17 亿元;草地 ESV 先减后增,2000—2010 年 ESV 减少 10.11 亿元,2010—2020 年 ESV 增加 1.82 亿元,主要是因为草地面积在 2000—2010 年这一时段面积减少显著,2010—2020 年面积少量增加,后期增加的草地面积远远低于减少的草地面积,最终表现为草地 ESV 减少 8.29 亿元;水域 ESV 持续增加,20 年来共增加 85.24 亿元。总体而言,研究期间研究区 ESV 总量增加 39.43 亿元,表明环鄱阳湖城市群生态环境整体有所改善。

持服务功能位居第二,各时期占比都在 15% 以上;供给服务功能各时期占比都在 6% 以上,名列第三;文

化服务功能占比最小,不足 4%,排在最末。其中,供给服务中食物生产表现出了最大贡献率,各年产生的 ESV 均在 110 亿元以上,平均占比 2.65%;调节服务功能主要来源于水文调节,各年水文调节 ESV 均超过 1 800 亿元,平均占比 44.62%;支持服务功能主要来源于生物多样性,各年生物多样性 ESV 稳定在 290 亿元左右,平均占比 6.94%。2000—2010 年,除水资源供给、净化环境、水文调节、美学景观的生态系统服务价值增加,其余 7 项的生态服务价值均减少;2010—2020 年,仅有水资源供给和水文调节的生

态服务价值增加,其余 9 项的生态服务价值均有不同程度的减少,与总 ESV 变化趋势一致。总体而言,在 2000—2020 年期间,水资源供给价值增幅最大(12.24%),其次是水文调节(3.13%),食物生产价值的减幅最大(−2.04%)。

环鄱阳湖城市群土地利用类型以林地为主,蓄水保水能力较强,近 20 年来水域面积共增加 314.71 km²,在水域面积大幅增加的影响下,水资源供给和水文调节 ESV 显著增加,两者共增加 66.87 亿元,最终促使研究区总 ESV 增加。

表 3 2000—2020 年环鄱阳湖城市群单项生态系统服务价值变化

Table 3 Changes in the value of individual ecosystem services in the urban agglomeration around Poyang Lake from 2000 to 2020

一级服务	二级服务	2000 年		2010 年		2020 年		化幅度/% 2000—2020 年
		ESV/亿元	比例/%	ESV/亿元	比例/%	ESV/亿元	比例/%	
供给服务	食物生产	112.31	2.70	111.62	2.65	110.07	2.62	−2.04
	原料生产	86.73	2.08	86.18	2.04	85.28	2.03	−1.69
	水资源供给	55.43	1.33	61.27	1.45	63.16	1.50	12.24
调节服务	气体调节	291.90	7.01	289.96	6.87	286.92	6.83	−1.74
	气候调节	727.02	17.46	723.44	17.15	716.95	17.06	−1.41
	净化环境	275.96	6.63	277.69	6.58	276.15	6.57	0.07
	水文调节	1833.05	44.03	1890.56	44.81	1892.19	45.02	3.13
支持服务	土壤保持	318.99	7.66	317.09	7.51	314.07	7.47	−1.57
	维持养分循环	31.77	0.76	31.53	0.75	31.16	0.74	−1.96
	生物多样性	292.20	7.02	291.75	6.91	289.50	6.89	−0.93
文化服务	美学景观	138.15	3.32	138.42	3.28	137.48	3.27	−0.48

2.1.2 生态系统服务价值空间变化 为了研究区 ESV 的空间变化特征表达得更为精细,选择格网尺度对研究区进行划分。结合研究区实际面积,参考前人格网构建研究^[30-31],以 3 km×3 km 作为格网单元大小,将研究区划分成 10 709 个格网,对每个格网的 ESV 进行 Kriging 插值。为统一 2000—2020 年环鄱阳湖城市群生态系统服务价值空间分布中 3 个年份的数量分级,以 2000 年为分级标准,并采用自然断点法(Natural Jecks),将 ESV 值划分为 5 个等级,分别为低(0~0.31 亿元)、较低(0.31 亿元~0.55 亿元)、中等(0.55 亿元~1.00 亿元)、较高(1.00 亿元~1.70 亿元)、高(1.70 亿元~2.50 亿元)^[32],得到 2000 年、2010 年、2020 年 3 期 ESV 空间分布情况(图 2)。

由图 2 可知,2000—2020 年研究区的 ESV 空间分布基本格局较为稳定,分布特征与土地利用类型的关系相当密切。高等级区主要集中于鄱阳湖和柘林湖的湖心区域;中和较高等级区主要分布在珠湖、军山湖等大型湖泊水库以及抚河、修河、赣江的主河道;较低等级区与林地分布走向一致,主要分布于地形以山地丘陵为主的東西两侧;低等级区主要分布于城镇建成区和乡村聚集区,这些区域的主要土地利用类型

为建设用地,所以 ESV 最低。2000—2020 年研究区的 ESV 低值区由原来的 3 990 个格网减少为 3 808 个格网,较低值区由 5 632 个格网增加为 5 852 个格网,中值区和较高值区由 896 个格网减少为 819 个格网,高值区由 192 个格网增加为 230 个格网。研究期间低值区格网数量减少,中值区和较高值区格网数量少量减少,较低值区和高值区格网数量增幅相对较大,总的来说格网数量变动不显著,说明近 20 年来研究区 ESV 空间分布基本格局较为稳定且发生了由低值向高值的转变,整体呈增长态势。ESV 增加的区域主要为水域面积增加的地方,这些地方主要是由大面积的耕地和林地转化而来,而水域的单位价值系数又远远高于耕地和未利用地的单位价值系数,故表现为 ESV 的增加。ESV 减少的区域为城镇扩张强度较高的地区,主要分布于南昌市区、萍乡市、鹰潭市以及九江市东北部、上饶市东部、宜春市南部等区县的城镇建成区,呈点块状分布,伴随着城镇扩张,有大面积林地、耕地转化为建设用地,所以导致这些地方 ESV 减少。

2.2 生态服务价值敏感性分析

将各地类的生态系统服务价值系数上下调整 50%,根据公式(4)计算得出研究区 2000 年、2010 年

和 2020 年各地类的 ESV 敏感性指数。由表 4 可知,研究时段内各地类的 ESV 敏感性指数均小于 1,且林地>水域>耕地>草地>未利用地,敏感性值最高为 2000 年的林地,数值仅为 0.530 1,即当林地的 VC 增加 1% 时,总价值增加 0.530 1%,这表明 ESV 对 VC 的依赖程度较低。因此研究区 ESV 对 VC 缺乏弹性,本研究采用的当量因子修正的价值系数比较可

靠,比较贴合研究区的实际情况,研究结果可信度高。2000—2020 年,耕地、林地、草地的敏感性指数减小,说明其生态系统服务价值系数对总 ESV 的影响变弱;水域的敏感性指数增大,说明其价值系数对总 ESV 的作用增大;未利用地的敏感性指数很小,仅为 0.000 1,说明其价值系数的变化对研究区总价值的影响很小。

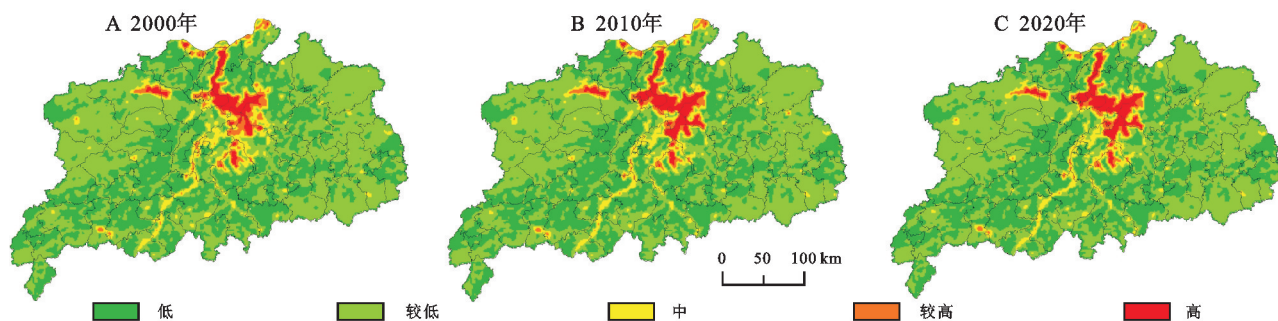


图 2 2000—2020 年环鄱阳湖城市群生态系统服务价值空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of ecosystem service value in urban agglomeration around Poyang Lake from 2000 to 2020

表 4 生态系统服务价值敏感性指数

Table 4 Value sensitivity index for ecosystem services

土地利用类型	2000 年	2010 年	2020 年
耕地	0.0617	0.0602	0.0592
林地	0.5301	0.5215	0.5182
草地	0.0252	0.0224	0.0232
水域	0.3828	0.3958	0.3995
未利用地	0.0001	0.0001	0.0001

2.3 土地利用类型 ESV 变化的贡献率

对不同土地利用类型 ESV 变化的贡献率进行分析,结果如表 5 所示。2000—2020 年研究区内水域和林地的生态贡献率最大,贡献率分别为 65.04% 和 22.31%,二者的 ESV 变化对总 ESV 变化的贡献率之高达 87.35%,其次为草地和耕地,贡献率依次为 6.32%,6.19%。2000—2010 年水域的贡献率高达 79.10%,其次是草地和林地,贡献率分别为 10.50% 和 6.83%;这一时期耕地的贡献率相对较小,贡献率仅有 3.40%。2010—2020 年水域的贡献率锐减至 23.66%,林地的贡献率升至 58.99%,高居首位,这与这一时间段内林地面积大幅减少而水域面积变化不大具有一定关系,与此同时,耕地的贡献率也呈现小幅度的增长,由 2000—2010 年 3.40% 增至 2010—2020 年 12.59%,而草地的贡献率则从 2000—2010 年 10.50% 减至 2010—2020 年 4.74%。

综合 3 个时段各地类 ESV 变化的贡献率分析来看,水域和林地 ESV 变化对总 ESV 变化的贡献率最大,草地和耕地次之,二者的贡献率之和仅为 12.51%,未利用地的贡献率各个时期内均不足 0.2%,这一结果说明

近 20 年水域和林地是环鄱阳湖城市群 ESV 增减变化的主要影响因素,二者土地利用面积的变化对该区的生态系统服务功能有着深切的影响。

表 5 2000—2020 年环鄱阳湖城市群不同地类生态系统服务价值变化的贡献率

Table 5 Contribution rate of changes in the value of ecosystem services in different geographical types in the urban agglomeration around Poyang Lake from 2000 to 2020 %

时间段	耕地	林地	草地	水域	未利用地
2000—2010 年	3.40	6.83	10.50	79.10	0.17
2010—2020 年	12.59	58.99	4.74	23.66	0.02
2000—2020 年	6.19	22.31	6.32	65.04	0.13

2.4 生态系统服务权衡协同关系分析

对 11 项生态系统服务功能进行权衡与协同分析,对不同时段内各生态服务功能之间相互影响的程度和方向进行量化。结果表明(图 3),2000—2010 年各生态系统服务之间组成 55 组值,其中 26 组值为正,29 组值为负,权衡关系占 52.73%,表明该时段内权衡关系为环鄱阳湖城市群生态系统服务之间的主导关系;其中,水资源供给与美学景观、水文调节与美学景观表现为强协同关系,协同度依次为水资源供给与生物多样性、水文调节与生物多样性表现为强权衡关系。2010—2020 年,各服务功能之间相互作用的程度和方向都发生了变化,协同关系增加至 37 组,占比 67.27%,表明该时段内协同关系占主导;其中,水资源供给与水文调节的协同度最高(17.31),除此之外,二者与其他生态系统服务功能之间均为权衡关

系;其余生态系统服务功能之间均为弱协同关系,极值较小。2000—2020 年,协同关系为环鄱阳湖城市群生态系统服务之间的主导关系,协同关系占比 56.36%,协同关系较强,极值较大,食物生产与净化环境的权衡度最高(−14.30);水资源供给和净化环境协同度最高(85.76);净化环境与水文调节次之(21.91),除二者之外,权衡关系存在于水资源供给、净化环境、水文调节与其他生态系统服务功能之间。

研究区内包含鄱阳湖,其作为中国第一大淡水湖,水域辽阔,水系发达。水体起净化环境和调节气候等作用,2000—2020 年研究区水域面积持续增加,涨幅显著,因此水资源供给、净化环境和水文调节的 ESV 得到提高,故表现为三者与其余生态系统服务功能之间为强权衡关系。由于研究区水系发达,有大量水体在经过蒸发后,会汽化成水蒸气,然后以降雨的形式落到周边区域,对当地的小气候起到了调节作用,充沛的雨水有利于植被生长,植被又能固定土壤、涵养水源,因此气候调节与生物多样性、土壤保持同增同减、相辅相成,所以彼此之间为协同关系。

3 讨论与结论

3.1 讨论

研究表明,2020 年环鄱阳湖城市群的生态价值较 2000 年有所增加,发生这种情况主要是因为水域 ESV 的增加,水域面积占研究区总面积的 7% 以下,但是其产生的 ESV 占总 ESV 的 38.28%~39.95%,产生这种结果主要是因为水域的价值系数远高于其余地类,比其余地类单位面积价值系数总和的三倍还多,而且水域 ESV 变化对总 ESV 变化的贡献率高达 65.04%,因此 20 a 间,尽管耕地、林地、草地、未利用地的 ESV 均有不同程度地减少,但是仅水域 ESV 的增长就弥补了其余地类 ESV 的损失,最终促使研究期间环鄱阳湖城市群 ESV 总量增加。2020 年环鄱阳湖城市群的生态价值较 2010 年有所减少,分析出现这一现象可能是因为此时段水域面积增幅较小,创造的生态价值有限,对总 ESV 的贡献率仅有 23.66%,此时林地对总 ESV 表现出最大的贡献率,贡献率为 58.99%,而 2009 年鄱阳湖生态经济区上升为国家战略以及昌九一体化发展规划,在政策影响下极大加快了城镇化、工业化的进程,这种情况势必会伴随建设用地的扩张,导致大量林地和耕地转为建设用地,最终促使 ESV 总量减少。建设用地面积增加的区域与图 2 中 ESV 低值格网区域分布重叠,主要分布于南昌市区、九江市区、上饶市区、共青城市以及

研究区东北部珠山区和昌江区、西南部安源区、袁州区、渝水区等城镇建成区。总的来看,东西部山区 ESV 高,中部人类活动密集的鄱阳湖平原和河谷平原 ESV 低,这与温玉玲^[26]、杨光宗^[33]、张海玲^[34]等的研究结果一致。

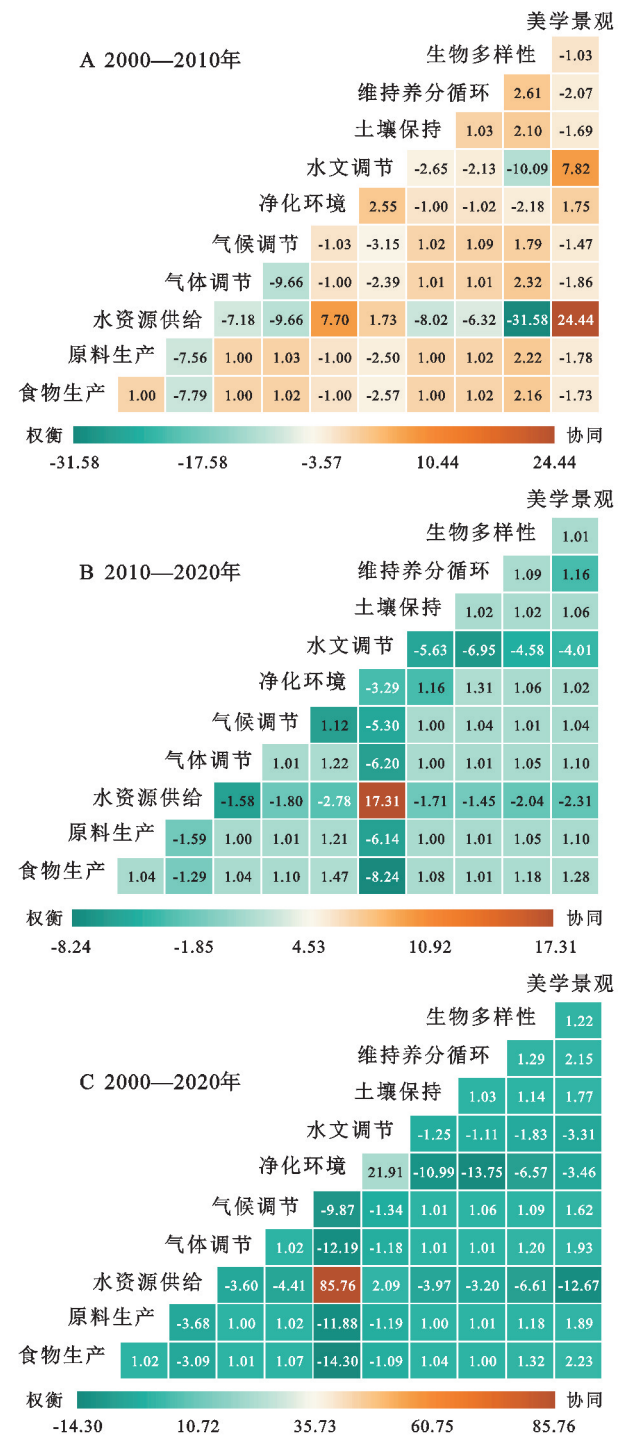


图 3 2000—2020 年各生态系统服务权衡与协同关系
Fig. 3 Trade-offs and synergies between ecosystem service from 2000 to 2020

总体而言,2020 年环鄱阳湖城市群的 ESV 较 2000 年有所增加,但是与 2010 年相比有所减少,表明近 10 年研究区的生态质量有所下降,应加强对此

情况的重视程度。在各单项生态系统服务中,水文调节的ESV高居榜首,远高于其余10项,是影响总ESV变化的主要因素,因此要以约束水资源为前提,尤其限制鄱阳湖及五大水系周边的土地开发利用,对单项服务功能中ESV排名靠前的水文调节和气候调节功能加大保护力度,同时还要限制耕地、林地向建设用地的转入,严格管控城镇建设用地的扩张,寻求ESV长远良性增益。

本研究对生态系统服务之间的权衡协同关系进行定量分析,但只是从时间维度进行了探讨,未来需要从空间维度来探讨生态系统服务的权衡与协同关系,对于生态系统服务内部机理和驱动机制,将来还要借助其他方法进行更深一步的分析和探讨。此外,在计算生态系统服务价值时结合研究区实际情况将土地利用类型分为了耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地6个地类,未考虑不同土地覆盖类型对ESV的影响,例如有林地、疏林地、灌木林的生态系统服务价值可能会有差别,在以后的研究中应进一步细化土地利用类型,探索更加细致的生态系统功能模型。

3.2 结论

本研究以环鄱阳湖城市群为研究对象,基于2000年、2010年、2020年土地利用数据和修订后的当量因子表,对2000—2020年环鄱阳湖城市群ESV时空变化展开分析,探讨了生态系统服务之间的权衡协同关系,结果表明:

(1) 2000年、2010年和2020年环鄱阳湖城市群生态系统服务价值分别为4 163.50亿元、4 219.53亿元、4 202.93亿元,整体呈先增后减的变化特征。研究期间各地类中林地的ESV最大;在单项服务功能中水文调节的ESV最大,占总ESV的比例均超过44%。影响研究区ESV减少的主要原因是林地、耕地面积锐减,建设用地面积激增。

(2) 环鄱阳湖城市群的ESV空间分布格局较为稳定,分布特征与土地利用类型的关系较为紧密。ESV中高值格网分布于鄱阳湖、柘林湖、军山湖、珠湖以及抚河、修河、赣江主河道,ESV低值格网分布于城镇建成区和耕地开发程度高的乡村聚集区,较低值格网与林地分布走向一致,呈现“东西高,中间低”的分布特征。ESV增加的区域主要为鄱阳湖外围,ESV减少的区域为南昌市区、九江市东北部、鹰潭市等区县的城镇建成区。

(3) 水域对ESV变化的贡献率最大,平均贡献率高达65.04%,是影响环鄱阳湖城市群ESV增减变化的主要因素,林地、草地、耕地是影响ESV增减变化的重要因素。

(4) 研究时段内环鄱阳湖城市群生态系统服务之间协同关系占主导,研究期间各生态系统服务之间的权衡协同关系的强弱发生了变化,在整体关系上经历了由权衡向协同的转变,权衡关系集中存在于水资源供给、净化环境、水文调节与其他生态系统服务功能之间。

参考文献(References):

- [1] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems[M]. Washington D C: Island Press, 1997: 49-68.
- [2] 傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展[J]. 地理科学进展, 2014, 33(4): 441-446.
Fu B J, Zhang L W. Land-use change and ecosystem services: Concepts, methods and progress[J]. Progress in Geography, 2014, 33(4): 441-446.
- [3] Assessment M E. Ecosystems and human well-being. [M]. Washington, D.C.: Island Press, 2005.
- [4] 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: 253-260.
- [5] Costanza R. An Introduction to Ecological Economics[M]. Boca Raton, Fla.: St. Lucie Press, 1997.
- [6] 马丽娜, 张飞云, 翟玉鑫, 等. 1980—2020年新疆土地利用变化下生态系统服务价值时空演变分析[J]. 干旱区地理, 2023, 46(2): 253-263.
Ma L N, Zhang F Y, Zhai Y X, et al. Temporal and spatial evolution of ecosystem service value under land use change in Xinjiang from 1980 to 2020[J]. Arid Land Geography, 2023, 46(2): 253-263.
- [7] Costanza R, de Groot R, Sutton P, et al. Changes in the global value of ecosystem services[J]. Global Environmental Change, 2014, 26: 152-158.
- [8] 魏佳豪, 温玉玲, 龚志军, 等. 近30年鄱阳湖滨岸缓冲带土地利用变化及生态系统服务价值[J]. 生态学报, 2022, 42(22): 9261-9273.
Wei J H, Wen Y L, Gong Z J, et al. Land use changes and ecosystem service value in the buffer zone of Poyang Lake in recent 30 years[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(22): 9261-9273.
- [9] 王航, 秦奋, 朱筠, 等. 土地利用及景观格局演变对生态系统服务价值的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(4): 1286-1296.
Wang H, Qin F, Zhu J, et al. The effects of land use structure and landscape pattern change on ecosystem service values[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(4): 1286-1296.
- [10] 马伟, 张文新, 王红瑞, 等. 阿温同城土地利用变化对生态服务价值的影响[J]. 水土保持研究, 2023, 30(3): 373-382.
Ma W, Zhang W X, Wang H R, et al. Effects of land

- use change on ecological service value in A-Wen integration area[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2023,30(3):373-382.
- [11] Pimentel D, Wilson C, McCullum C, et al. Economic and environmental benefits of biodiversity[J]. *BioScience*, 1997,47(11):747-757.
- [12] 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):607-613.
- Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(5):607-613.
- [13] 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(2):189-196.
- Xie G D, Lu C X, Leng Y F, et al. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau[J]. *Journal of Natural Resources*, 2003,18(2):189-196.
- [14] 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.
- Xie G D, Zhen L, Lu C X, et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China[J]. *Journal of Natural Resources*,2008,23(5):911-919.
- [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.
- Xie G D, Zhang C X, Zhang L M, et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015,30(8):1243-1254.
- [16] 肖建设,乔斌,陈国茜,等.黄河源区玛多县土地利用和生态系统服务价值的演变[J].*生态学报*,2020,40(2):510-521.
- Xiao J S, Qiao B, Chen G Q, et al. Land use change and evolution of ecosystem service value in Maduo County of source region of the Yellow River[J]. *Acta Ecologica Sinica*,2020,40(2):510-521.
- [17] Salzman J, Bennett G, Carroll N, et al. The global status and trends of Payments for Ecosystem Services[J]. *Nature Sustainability*, 2018,1:136-144.
- [18] 崔国屹,张艳,晁阳,等.秦岭地区近40年土地利用变化及其生态环境效应[J].*水土保持研究*,2023,30(1):319-326.
- Cui G Y, Zhang Y, Chao Y, et al. Land use change and eco-environmental effects in Qinling Mountains in recent 40 years[J]. *Research of Soil and Water Conservation*,2023,30(1):319-326.
- [19] 方露露,许德华,王伦澈,等.长江、黄河流域生态系统服务变化及权衡协同关系研究[J].*地理研究*,2021,40(3):821-838.
- Fang L L, Xu D H, Wang L C, et al. The study of ecosystem services and the comparison of trade-off and synergy in Yangtze River Basin and Yellow River Basin[J]. *Geographical Research*,2021,40(3):821-838.
- [20] 朱俊俊,高周冰,王君楠,等.南京都市圈生态系统服务时空变化及权衡协同关系[J].*水土保持研究*,2023,30(3):383-394.
- Zhu J J, Gao Z B, Wang J X, et al. Spatiotemporal changes and trade-off/synergy relationship of ecosystem services in Nanjing metropolitan area[J]. *Research of Soil and Water Conservation*,2023,30(3):383-394.
- [21] 彭建,胡晓旭,赵明月,等.生态系统服务权衡研究进展:从认知到决策[J].*地理学报*,2017,72(6):960-973.
- Peng J, Hu X X, Zhao M Y, et al. Research progress on ecosystem service trade-offs: From cognition to decision-making[J]. *Acta Geographica Sinica*,2017,72(6):960-973.
- [22] 卢新海,陈丹玲,匡兵.区域一体化背景下城市土地利用效率指标体系设计及区域差异:以长江中游城市群为例[J].*中国人口·资源与环境*,2018,28(7):102-110.
- Lu X H, Chen D L, Kuang B. Indicator system design and regional difference of urban land use efficiency under the background of regional integration: A case of urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River[J]. *China Population, Resources and Environment*,2018,28(7):102-110.
- [23] 金贵,郭柏枢,成金华,等.基于资源效率的国土空间布局及支撑体系框架[J].*地理学报*,2022,77(3):534-546.
- Jin G, Guo B S, Cheng J H, et al. Layout optimization and support system of territorial space: An analysis framework based on resource efficiency[J]. *Acta Geographica Sinica*,2022,77(3):534-546.
- [24] 刘耀彬,邱浩,戴璐.生态安全约束下城市群空间网络结构动态演变及关联特征分析:以环鄱阳湖城市群为例[J].*华中师范大学学报:自然科学版*,2020,54(4):522-535.
- Liu Y B, Qiu H, Dai L. Spatial network structure dynamic evolution and correlation characteristics analysis of urban agglomeration under ecological security constraint: A case of urban agglomeration around the Poyang Lake[J]. *Journal of Central China Normal University: Natural Science*,2020,54(4):522-535.
- [25] 陈旻坤,徐昔保.近30年来鄱阳湖生态系统服务变化[J].*湖泊科学*,2021,33(1):309-318.
- Chen M K, Xu X B. Lake Poyang ecosystem services changes in the last 30 years[J]. *Journal of Lake Sciences*,2021,33(1):309-318.
- [26] 温玉玲,张小林,魏佳豪,等.鄱阳湖环湖区生态系统服

- 务价值时空变化及权衡协同关系[J].地理科学,2022,42(7):1229-1238.
- Wen Y L, Zhang X L, Wei J H, et al. Temporal and spatial variation of ecosystem service value and its tradeoffs and synergies in the peripheral region of the Poyang Lake[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2022, 42(7):1229-1238.
- [27] 杨强强,徐光来,李爱娟,等.青弋江流域生态系统服务评估与权衡研究[J].生态学报,2021,41(23):9315-9327.
- Yang Q Q, Xu G L, Li A J, et al. Evaluation and trade-off of ecosystem services in the Qingyijiang River Basin [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(23):9315-9327.
- [28] Das M, Das A. Dynamics of Urbanization and its impact on Urban Ecosystem Services (UESs): A study of a medium size town of West Bengal, Eastern India[J]. *Journal of Urban Management*, 2019, 8(3):420-434.
- [29] Gong J, Liu D Q, Zhang J X, et al. Tradeoffs/synergies of multiple ecosystem services based on land use simulation in a mountain-basin area, Western China [J]. *Ecological Indicators*, 2019, 99:283-293.
- [30] 陈相标,丁文荣.石林喀斯特岩溶区生态系统服务时空演变及权衡协同关系[J].水土保持研究,2023,30(2):285-293.
- Chen X B, Ding W R. Spatial-temporal evolution and trade-off synergy relationships of ecosystem services in Karst Area of Shilin[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2023, 30(2):285-293.
- [31] 郭椿阳,高尚,周伯燕,等.基于格网的伏牛山区土地利用变化对生态服务价值影响研究[J].生态学报,2019,39(10):3482-3493.
- Guo C Y, Gao S, Zhou B Y, et al. Effects of land use change on ecosystem service value in Funiu Mountain based upon a grid square[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(10):3482-3493.
- [32] 邓元杰,侯孟阳,谢怡凡,等.退耕还林还草工程对陕北地区生态系统服务价值时空演变的影响[J].生态学报,2020,40(18):6597-6612.
- Deng Y J, Hou M Y, Xie Y F, et al. Impact of the Grain for Green Project on the temporal and spatial evolution of ecosystem service value in northern Shaanxi [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(18):6597-6612.
- [33] 杨光宗,吕凯,李峰.基于格网尺度的南昌市土地利用变化及生态系统服务价值时空相关性分析[J].中国土地科学,2022,36(8):121-130.
- Yang G Z, Lv K, Li F. Spatial and temporal correlation analysis of land use change and ecosystem service value in Nanchang city based on grid scale[J]. *China Land Science*, 2022, 36(8):121-130.
- [34] 张海铃,叶长盛.环鄱阳湖城市群生态保护重要性评价及其空间格局[J].水土保持通报,2023,43(1):224-234.
- Zhang H L, Ye C S. Importance evaluation of ecological protection and spatial pattern of urban agglomeration around Poyang Lake [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2023, 43(1):224-234.
- ~~~~~
- (上接第 390 页)
- [24] 李全林,马晓冬,沈一.苏北地区乡村聚落的空间格局[J].地理研究,2012,31(1):144-154.
- Li Q L, Ma X D, Shen Y. Analysis of spatial pattern of rural settlements in northern Jiangsu[J]. *Geographical Research*, 2012, 31(1):144-154.
- [25] 曲衍波,姜广辉,张佰林,等.山东省农村居民点转型的空间特征及其经济梯度分异[J].地理学报,2017,72(10):1845-1858.
- Qu Y B, Jiang G H, Zhang B L, et al. Spatial characteristics of rural residential land transition and its economic gradient differentiation [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(10):1845-1858.
- [26] 姜磊.空间回归模型选择的反思[J].统计与信息论坛,2016,31(10):10-16.
- Jiang L. The choice of spatial econometric models reconsidered in empirical studies[J]. *Statistics & Information Forum*, 2016, 31(10):10-16.
- [27] 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.
- Wang J F, Xu C D. Geodetector: Principle and prospective [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1):116-134.
- [28] 李为,张平宇,宋玉祥.清代东北地区土地开发及其动因分析[J].地理科学,2005,25(1):7-16.
- Li W, Zhang P Y, Song Y X. Analysis on land development and causes in Northeast China during Qing dynasty [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2005, 25(1):7-16.
- [29] 张洪岩,王蕾,刘德赢.19 世纪以来中国朝鲜族人口迁移分布及聚居区形成研究[J].地理科学,2011,31(9):1078-1083.
- Zhang H Y, Wang L, Liu D Y. Migration and distribution of Chinese Korean nationality since the beginning of the 19 th century [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, 31(9):1078-1083.