

唐国华, 胡坤琳, 甘黎黎. 鄱阳湖流域生态系统服务与人类福祉的时空耦合及空间效应[J]. 水利水电技术(中英文), 2025, 56(8): 78-90. DOI: 10.13928/j.cnki.wrahe.2025.08.006

TANG Guohua, HU Kunlin, GAN Lili. Spatiotemporal coupling and spatial effects of ecosystem services and human well-being in Poyang Lake Basin[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2025, 56(8): 78-90. DOI: 10.13928/j.cnki.wrahe.2025.08.006

鄱阳湖流域生态系统服务与人类福祉的时空耦合及空间效应

唐国华, 胡坤琳, 甘黎黎

(华东交通大学 人文与社会科学学院, 江西 南昌 330013)

摘要:【目的】如何实现生态系统服务与人类福祉的耦合协调对建设区域生态文明具有重要意义。【方法】通过构建人类福祉评价指标体系, 运用修正的当量因子法、耦合协调度模型、空间计量模型等, 探析 2005—2023 年鄱阳湖流域的时空耦合协调关系及空间效应。【结果】(1) 研究期间鄱阳湖流域整体处于“生态系统服务价值波动下降, 人类福祉持续提升”阶段; 耦合协调度从 0.393 增至 0.531, 从中度失调过渡至磨合阶段, 呈现北高中低的分布。(2) 耦合协调度呈显著的正向聚集, 空间相关性呈先降后增再降的趋势。整体高值聚集较为稳定, 低值聚集出现转移: 高聚集类型主要分布在鄱阳湖周边, 低聚集类型从鹰潭市周边转移至瑞昌市、安义县等侧重工业的区县, 并且在宜春市辖区周边存在扩张趋势。(3) 本地耦合协调度增涨主要受到邻近区县植被质量、产业结构、工业发展、政府干预、经济活力的正向溢出效应影响, 其次为产业结构、工业发展、经济活力的直接影响, 植被质量和政府干预对本地耦合协调发展存在负面影响。【结论】2005—2023 年研究区耦合协调水平整体稳步提升, 未来可从扭转政府干预、植被质量对本地耦合协调发展的负向作用, 并通过调整产业结构、推动工业发展等方式实现鄱阳湖流域整体耦合协调发展的一体化提升。

关键词: 鄱阳湖; 生态系统服务; 人类福祉; 耦合协调; 空间效应; 影响因素

DOI: 10.13928/j.cnki.wrahe.2025.08.006

开放科学(资源服务)标志码(OSID):

中图分类号: C934

文献标志码: A

文章编号: 1000-0860(2025)08-0078-13



Spatiotemporal coupling and spatial effects of ecosystem services and human well-being in Poyang Lake Basin

TANG Guohua, HU Kunlin, GAN Lili

(School of Humanities and Social Sciences, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, Jiangxi, China)

Abstract: [Objective] Achieving the coupling coordination of ecosystem services and human well-being is crucial for the development of regional ecological civilization. [Methods] By establishing an evaluation index system of human well-being, the spatiotemporal coupling coordination relationship and spatial effects in the Poyang Lake Basin from 2005 to 2023 were analyzed by using the modified equivalent factor method, coupling coordination degree model, and spatial econometric model. [Results] (1)

收稿日期: 2024-11-25; 修回日期: 2025-01-10; 录用日期: 2025-01-11; 网络出版日期: 2025-03-06

基金项目: 国家社科资助项目(20BGL227); 江西省高校人文项目(JC23106)

作者简介: 唐国华(1975—), 男, 副教授, 博士, 主要研究方向为资源环境管理. E-mail: 58056873@qq.com

通信作者: 胡坤琳(1996—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为资源环境管理. E-mail: hukunlinn@163.com

©Editorial Department of Water Resources and Hydropower Engineering. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license.

During the study period, the Poyang Lake Basin was in the stage of “fluctuating decline in ecosystem service values and continuous improvement in human well-being”. The coupling coordination degree increased from 0.393 to 0.531, transitioning from moderate imbalance to coordination, with a spatial distribution of higher values in the north and lower values in the middle. (2) The coupling coordination degree showed significant positive clustering, with spatial correlation showing a trend of initial decrease, followed by an increase, and then another decrease. Overall, high-value clustering remained relatively stable, while low-value clustering shifted; high-value clustering types were mainly distributed around Poyang Lake, while low-value clustering types shifted from the vicinity of Yingtan City to industrial-focused districts and counties such as Ruichang City and Anyi County, with an expansion trend around the Yichun City area. (3) The increase in local coupling coordination degree was primarily influenced by positive spillover effects of vegetation quality, industrial structure, industrial development, government intervention, and economic vitality in neighboring districts and counties. Direct effects of industrial structure, industrial development, and economic vitality also contributed, while vegetation quality and government intervention had negative effects on the local coupling coordination development. [Conclusion] From 2005 to 2023, the overall coupling coordination in the study area has improved steadily. In the future, efforts should focus on mitigating the negative effects of government intervention and vegetation quality on local coupling coordination development. Additionally, achieving integrated improvement in the coupling coordination development of the Poyang Lake Basin can be facilitated by adjusting industrial structure and promoting industrial development.

Keywords: Poyang Lake; ecosystem services; human well-being; coupling coordination; spatial effects; influencing factors

0 引言

鄱阳湖流域位于长江中下游南侧,与江西省行政区划范围高度重合,其生态状况在长江中下游生态系统安全中扮演着极其重要的角色。自1999年特大洪水以后,鄱阳湖流域实施了系列退田还湖等环境整治工程,对区域生态持续改善和绿色发展起到正面影响。但随着城市用地快速扩张与人类活动增强,当地生态环境保护与人类发展面临新的问题与挑战。王琳杰等^[1]发现鄱阳湖流域人口增加是导致鄱阳湖沉积物污染加剧的主要诱因;王荣等^[2]发现鄱阳湖流域的旱涝急转事件与流域降水及强烈的人类活动等因素有关;段鹏等^[3]发现人类活动对鄱阳湖流域自然缓解的频繁干扰,导致当地生境破碎化且生境质量趋于下降。因此,如何协调鄱阳湖流域的生态保护与人类福祉需求提升的关系对于江西省打造生态文明建设高地具有重要意义。

人类从生态系统获得的各种利益被称为生态系统服务^[4],人类福祉是反映人们良好生活状态的多维概念^[5]。高速发展的城镇化极大提升了人民的生活水平与幸福感,但人类活动在改变土地利用结构的同时,也造成生态系统服务功能不断退化。千年生态系统评估(2005)^[6]首次将生态系统服务纳入人类福祉影响的研究范畴,此后与之相关的研究大量涌现^[7]。根据联合国千年生态系统评估结果,全球60%的生态系统服务已经退化^[8],最终将导致气候变暖、生态破坏、资源枯竭等系列区域性甚至全球性生态问题

的加剧^[9]。在生态系统衰退与人类福祉需求提升矛盾日益显露的背景下,环境污染、资源短缺等现象日益严重^[10]。目前国内外学者主要从相关关系^[11-12]、供需关系^[13-14]、耦合协调^[15]、生态补偿^[16]、影响机理^[17]与福祉效应^[18]等方面展开相关研究,研究尺度涉及全球^[6]、全国^[19]、省域^[20]以及不同地貌类型^[21]。赵文武等^[22]认为土地利用会使生态系统服务发生变化,社会经济因素会导致其权衡产生差异。邱坚等^[23]认为生态系统服务与人类福祉之间通过资本流动、土地利用等不同驱动机制,形成了多样化的发展模式和供需匹配的耦合联系。杨雪婷等^[12]发现人均生态系统服务价值与居民福祉存在负向关联关系,与教育福祉的负相关性最强。李雪敏等^[24]发现生态系统服务与福祉耦合协调度较低的区县相较于高耦合协调的区县更易于扩散,并对邻近地区产生消极影响;工业水平、经济结构等因素对耦合协调度的影响存在空间差异。

在鄱阳湖流域,学者们从生态系统服务价值^[25]、水资源承载力^[26]等角度评估鄱阳湖的生态水平,从城镇化^[27]、土地利用结构^[28]等因素分析人类活动对生态产生的影响,并通过生态补偿^[29]、土地利用模拟^[30]、生态安全格局构建^[31]、旅游-城镇化-生态交互耦合^[32]等方式寻找鄱阳湖的保护与发展策略。但少有研究从耦合协调角度探析鄱阳湖人类福祉与生态系统服务的关系,也尚未有研究对其耦合协调关系的空间效应进行分析。鉴于此,本文以鄱阳湖流域为研究对象,通过构建人类福祉评价指标体系并运用修正

的当量因子法结合耦合协调度模型, 基于数据可得性, 对研究区 2005 年、2008 年、2010 年、2013 年、2015 年、2018 年、2020 年、2023 年八个年份的生态系统服务价值与人类福祉的耦合协调关系的时空演化进行分析, 最后引入空间计量模型探析其空间效应, 以期对鄱阳湖流域建设生态文明提供借鉴与参考。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究方法

1.1.1 人类福祉评价指标体系

基于阿玛蒂亚·森可行能力理论的主要观点“发展即人类福祉, 且发展的目的是扩展人们的可行能力”, 并参考联合国人类发展指数的测算方法, 从收入福祉、健康福祉、教育福祉三个方面构建人类福祉评价指标体系。其中, 收入福祉侧重人们能够满足自身需求的能力, 反映可行能力物质基础的多寡; 健康福祉侧重人们的身体健康与寿命水平, 反映可行能力时间期限的长短; 教育福祉侧重人们的人力资本水平, 反映可行能力发展潜力的下限。然后, 基于科学性、客观性、可得性原则并参考相关文献进行指标选取; 参考任栋等^[33-34]的研究, 使用人均地区生产总值表示居民的收入水平, 反映居民满足当年需求的能力; 参考资明贵等^[35]的研究, 使用城乡居民人均储蓄存款余额表示居民消费后的余额, 反映居民满足下一年需求的储备能力; 参考张超正等^[13]的研究, 使用年均 PM2.5 表示居民健康受环境的负面影响程度; 参考田建国等^[36]的研究, 使用万人均医疗卫生机构床位数表示居民疾病的治愈水平; 参考王圣云等^[5]的研究, 使用出生时预期寿命表示居民的平均寿命水平, 使用简略生命表法^[37]测算; 参考杨雪婷等^[12]的研究, 使用文盲率表示居民的文盲情况; 参考李昂等^[38]的研究, 使用中小学在校生人数和总人数的比值反映当地义务教育水平; 参考赵燕萍等^[16]的研究, 使用平均受教育年限反映大多数居民的受教育程度。为确保福祉评估结果的客观性, 采用极差法和熵值法分别对原始数据进行标准化处理并确定指标权重, 极差法能够消除量纲差异对结果的负面影响, 熵值法能够通过衡量指标数据的离散程度较为客观地揭示各指标在评价体系中的重要性; 最后利用加权求和法计算每个研究单元的人类福祉水平, 具体计算公式参考文献^[39]。最终整理后得到人类福祉评价指标体系如表 1 所列。

1.1.2 生态系统服务价值测算方法

谢高地等^[40]在 COSTANZA 等^[4]的基础上结合国

表 1 人类福祉评价指标体系

Table 1 Human well-being evaluation index system

维度层	指标层	属性	权重
收入福祉	人均 GDP	+	0.24
	城乡居民人均储蓄存款余额	+	0.29
健康福祉	年均 PM2.5	-	0.07
	万人均医疗卫生机构床位数	+	0.17
	出生时预期寿命	+	0.02
教育福祉	普通小学在校学生数/总人数	+	0.05
	普通中学在校学生数/总人数	+	0.07
	文盲率	-	0.03
	平均受教育年限	+	0.06

内二百余位生态学家研究成果, 得出的当量因子法^[41]更适用于评估我国生态系统服务价值, 其主要计算公式为

$$V = E \times \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m L_i \times e_j \quad (1)$$

式中, V 为区域生态系统服务价值量; E 为研究区 1 个标准当量的价值量, 根据 1 个标准当量相当于研究区每公顷平均产量的农田每年自然粮食产量经济价值的 $1/7$ ^[40] 进行计算; L_i 、 e_j 分别为第 i 类土地利用类型面积、第 j 类生态系统服务价值的修正系数。

参考已有研究, 结合鄱阳湖流域实际情况对原量表进行修订: (1) 将原基准系数从全国农田的平均粮产调整为江西省农田平均粮产^[42]; (2) 农田当量以水田和旱地 5:2 的面积比取加权均值, 林地、草地取原量表均值, 湿地、未利用土地、水域分别取湿地、裸地、水系当量值, 建设用地取 0; (3) 选择稻谷、大豆、薯类作为主要粮食作物^[25] 来计算标准当量, 并且将三个年份的价值当量因子统一按 2022 年市场价格计算^[38], 以此消除市场价格变动的影 响, 得到研究区标准当量的价值为 2 302.93/(元·hm²)。基于上述修订得到鄱阳湖流域生态系统服务价值当量如表 2 所列。

1.1.3 耦合协调度模型

耦合协调概念源自物理学, 现广泛用于描述多个子系统之间相互作用与影响的程度。耦合协调度由耦合度和协调度组成, 耦合度表示子系统相互作用的强弱, 协调度反映子系统协调状态的好坏, 耦合协调度用于对整个系统协调发展水平的综合评价。计算公式为

$$D = \sqrt{C \times T} = \sqrt{2 \left[\frac{U_1 \times U_2}{(U_1 + U_2)^2} \right]^{1/2} \times (a_1 U_1 + a_2 U_2)}, \quad a_1 + a_2 = 1 \quad (2)$$

表2 鄱阳湖流域生态系统服务价值当量

元·hm⁻²

Table 2 Ecosystem service value equivalent in Poyang Lake Basin

yuan·hm⁻²

生态系统服务类型		土地利用类型						
一级类型	二级类型	农田	林地	草地	湿地	未利用土地	水域	建设用地
供给服务	食物生产	2 932.63	609.82	563.53	1 231.71	0.00	1 932.09	0.00
	原料生产	431.27	1 400.76	829.19	1 207.55	0.00	555.48	0.00
	水资源供给	-4 523.15	724.53	458.87	6 255.13	0.00	20 021.26	0.00
调节服务	气体调节	2 377.16	4 606.82	2 914.23	4 588.71	48.30	1 859.63	0.00
	气候调节	1 231.71	13 784.24	7 704.20	8 694.39	0.00	5 530.60	0.00
	净化环境	362.27	4 039.27	2 543.92	8 694.39	241.51	13 403.86	0.00
	水文调节	4 878.52	9 020.43	5 643.31	58 518.10	72.45	246 920.79	0.00
支持服务	土壤保持	727.98	5 609.09	3 550.21	5 578.90	48.30	2 246.05	0.00
	维持养分循环	410.57	428.68	273.71	434.72	0.00	169.06	0.00
	生物多样性	451.97	5 107.96	3 228.20	19 006.91	48.30	6 158.53	0.00
文化服务	美学景观	196.66	2 240.01	1 432.96	11 423.47	24.15	4 564.56	0.00
合计		9 477.58	47 571.62	29 142.32	125 633.99	483.02	303 361.90	0.00

式中, C 为耦合度, T 为协调度, D 为耦合协调度; U_1 为极差标准化后的地均生态系统服务价值系数; U_2 为人类福祉评估指数; a_1 和 a_2 为人类福祉和生态系统服务两个子系统的权重系数, 本研究假设二者同等重要, 均取值 1/2。参考相关研究^[15], 将 D 分为五个阶段: 严重失调 ($0 \leq D \leq 0.2$)、中度失调 ($0.2 < D \leq 0.4$)、拮抗 ($0.4 < D \leq 0.5$)、磨合 ($0.5 < D \leq 0.7$)、良好协调 ($0.7 < D \leq 1$)。

1.1.4 空间自相关

借助 ArcGIS 软件, 使用全局空间自相关和局部空间自相关分析探析各区县之间耦合协调发展水平的空间关联性。全局空间自相关用于检验空间相邻区县耦合协调度的相似程度, 使用 Global Moran's I 指数表示, 其值大于 0 时, 表示耦合协调发展水平在整体上呈空间正相关性, 反之则为空间负相关, 值为 0 时表示不存在空间相关性。使用局部莫兰指数探析耦合协调度在每个区县与邻近区县的空间相关程度, 局部莫兰指数通常包含“高-高”“低-低”“高-低”“低-高”四种局部聚集类型: 高-高(HH)聚集说明本地区县和邻近区县的耦合协调度均为较高值; 低-低(LL)说明本地区县和邻近区县的耦合协调度均为较低值; 高-低(HL)说明本地区县耦合协调度较高, 邻近区县的耦合协调度较低; 低-高(LH)说明本地区县耦合协调度较低, 邻近区县的耦合协调度较高。计算方法参考相关文献^[43]。

1.1.5 空间面板回归模型

1.1.5.1 回归模型构建

目前普遍采用的空间计量模型主要包括空间滞后模型(侧重自变量的空间滞后效应)、空间误差模型(侧重误差项的空间滞后效应)以及空间杜宾模型(包含二者)。主要计算公式为

$$D_{it} = \beta X_{it} + \rho \sum_{j=1}^n W_{ij} D_{jt} + \theta \sum_{j=1}^n W_{ij} X_{jt} + \lambda W \mu + \varepsilon_i \quad (3)$$

式中, D_{it} 为耦合协调度; W 为邻接标准构建空间权重矩阵, i 和 j 为不同区县; X_{it} 为自变量组; β 、 ρ 、 θ 分别为自变量的回归系数、因变量的空间自回归系数、自变量的空间回归系数; λ 为空间误差回归系数; ε_{it} 为随机误差项。当 $\rho \neq 0$ 且 $\theta = 0$ 时, 适用空间滞后模型; 当 $\lambda \neq 0$ 且 $\rho = 0$ 时, 则适用空间误差模型; 当 $\rho \neq 0$, $\theta \neq 0$ 且 $\lambda = 0$ 时, 则适用空间杜宾模型。对于空间计量模型类型的选择, 在选择空间计量模型类型时, 应依据 LM 和 LR 检验结果进行判断, 并参考 Hausman 检验来决定是采用固定效应还是随机效应模型。

1.1.5.2 变量选择

将耦合协调度作为因变量, 参考李雪敏等^[24,44-45]的研究, 选择经济活力、政府干预、植被质量、产业结构、工业发展作为自变量(见表3)。

为避免与测算耦合协调度所用指标重复, 在各变量多重共线性检验结果均小于 1.5 的前提下, 使用人均夜间灯光表征经济活力(PLN), 人均夜间灯光数越大, 说明当地夜间活动的持续时间越长、参与夜间活动的人数越多, 反映更丰富的就业机会与更高的收入水平; 使用政府公共财政支出和 GDP 的比值表征政府干预(GOV)程度, 比值越高说明政府在经济活动中起作用越大, 也意味着更较高的社会福利和公共服务水平, 但比值过高时可能也存在财政利用效率不高等问题; 使用植被净初级生产力表征当地植被质量(NPP), 植被净初级生产力是在一段时间内当地绿色植物通过光合作用固碳减去植物自身呼吸消耗的碳量, 其值越高说明当地植被质量越好, 能够为当地生物提供更多的能量和有机物, 为丰富的生物多样性

表3 主要变量与描述性统计

Table 3 Main variables and descriptive statistics

类型	变量名称	衡量方式	符号	样本量	均值	标准差	最大值	最小值
因变量 自变量	耦合协调水平	耦合协调度	<i>D</i>	648	0.470	0.089	0.799	0.066
	经济活力	人口数/年度夜间灯光总量	<i>PLN</i>	648	25.043	34.315	259.964	0.577
	政府干预	公共财政支出/GDP 取对数	<i>GOV</i>	648	0.306	0.389	-0.645	-3.380
	植被质量	植被净初级生产力值取对数	<i>NPP</i>	648	0.163	0.223	9.316	8.075
	产业结构	第三产业增加值/GDP 取对数	<i>INS</i>	648	0.217	0.268	-0.319	-2.111
	工业发展	规模以上工业企业密度取对数	<i>IED</i>	648	0.086	0.118	2.477	1.162

和生态服务功能提供支持;使用第三产业增加值和GDP 比值表征产业结构(*INS*), 第三产业发展能够推动经济从传统农业和制造业转向更加现代化、知识密集型的经济体系, 从而实现资源的优化配置, 提高生态和经济的转化效率, 推动人与自然和谐发展;使用规模以上工业企业密度(规模以上工业企业数与建设用地面积比值)表征工业发展(*IED*)水平, 在相同建设用地面积下, 规模以上工业企业数量越多, 说明当地工业技术、资源流动效率高, 产业链较为完整, 也说明其工业领域的竞争同质化现象较为缓和, 趋于多元发展。为降低数据的异方差性, 将部分变量进行自然对数的数据转换。

1.2 数据来源

研究所用数据包括行政区划数据、社会经济数据、遥感影像数据三类, 详细数据来源如表4所列。基于县级以上行政区划变更结果, 将各市市辖区(除九江市濂溪区)、部分调整过区划范围的县市区(濂溪区、德安县、永修县、共青城市、庐山市、星子县)进行合并处理, 最终得到81个研究单元(包含11个市辖区合并单元、9个县级市、60个县、1个市辖区合并单元)。社会经济数据通过人工对各类统计年鉴进行搜集整理, 少部分缺失数据采用邻近年份或线性插值法补齐。遥感影像数据使用 ArcGIS 软件将其投影至统一地理坐标后, 采用分区统计等功能获取

各区县对应数值。

2 结果分析与讨论

2.1 鄱阳湖流域生态系统服务与人类福祉发展水平分析

基于研究区人类福祉与生态系统服务评估结果绘制其福祉均值与价值总量变化如表5所列。

由表5可知, 研究期间鄱阳湖流域整体处于“生态系统服务供给减少, 人类福祉持续提升”的状态, 这与张超正等^[13,17,46-47]的研究结果一致。2005—2023年研究区生态系统服务价值总量从7526.23亿元降至7271.24亿元, 年均降幅0.19%, 生态系统服务价值波动下降的原因可能与建设用地面积增加^[46]、水域面积波动下降^[48]等因素有关。人类福祉指数从0.18提升至0.502, 其中收入福祉提升最快, 表明经济发展是人类福祉提升的主要驱动力^[47]。在2013—2020年期间福祉指数提升速度最快, 原因可能与江西省在2013年开始实施的脱贫攻坚以及民生工程等有关, 这些措施的实施极大提升了人们的收入水平并增加了公共设施供给能力。

2.2 鄱阳湖流域生态系统服务与人类福祉耦合协调关系的时空演变

将2005—2023年鄱阳湖流域耦合协调度测算结果整理, 结合 ArcGIS 软件进行空间可视化表达,

表4 研究所用数据来源介绍

Table 4 Introduction of data sources used in the study

数据类型	数据名称	数据来源
行政区划	1:100万公众版基础地理信息数据(2021)	https://www.webmap.cn
	县级以上行政区划变更情况	http://xzqh.mca.gov.cn
社会经济	各区县人数、GDP、储蓄存款余额、医疗卫生机构床位数、中小学在校学生数、规模以上工业企业数量、江西省粮食作物种植面积与产量	县域统计年鉴、江西省统计年鉴、各市统计年鉴、区县经济和社会发展统计公报
	分年龄组受教育人数、分年龄组死亡人数、分年龄组人口数、文盲率、全国经济粮食作物种植面积、产量、每50公斤的市场价格	江西省人口普查 中国统计年鉴、全国农产品成本收益资料汇编
遥感影像	中国多时期土地利用遥感监测数据集 1 km	http://www.resdc.cn
	中国年度植被净初级生产力(<i>NPP</i>)1 km 数据集	http://www.resdc.cn
	中国高分辨率高质量 PM2.5 数据集(2000—2023)	https://data.tpdc.ac.cn/product
	全球 NPP-VIIRS 型夜间灯光数据(2000—2023年)	https://dataverse.harvard.edu

表 5 2005—2023 年鄱阳湖流域福祉指数均值与生态系统服务价值总量变化

Table 5 Variations in average well-being index and total ecosystem service values of Poyang Lake Basin from 2005 to 2023

类 型		2005 年	2008 年	2010 年	2013 年	2015 年	2018 年	2020 年	2023 年	年均变化率/%
福祉指数	人类福祉	0.180	0.205	0.243	0.279	0.341	0.409	0.452	0.502	5.85
	收入福祉	0.017	0.031	0.046	0.067	0.076	0.096	0.105	0.132	12.07
	健康福祉	0.085	0.088	0.103	0.117	0.164	0.202	0.232	0.252	6.24
	教育福祉	0.078	0.086	0.094	0.096	0.101	0.111	0.115	0.118	2.28
生态系统服务价值总量/亿元	农 田	428.10	428.02	427.78	426.09	423.57	419.95	418.89	416.35	-0.15
	林 地	4 923.61	4 922.14	4 926.23	4 906.77	4 878.80	4 866.15	4 867.15	4 859.68	-0.07
	草 地	211.98	209.30	207.23	199.71	211.08	211.89	209.88	209.21	-0.07
	湿 地	261.57	232.05	402.53	290.59	313.83	311.82	390.09	406.30	2.48
	未利用土地	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-0.00
	水 域	1 700.95	1 756.77	1 357.54	1 616.01	1 578.09	1 577.48	1 396.07	1 379.69	-1.16
	合 计	7 526.23	7 548.28	7 321.33	7 439.19	7 405.38	7 387.31	7 282.09	7 271.24	-0.19

表 6 2005—2023 年鄱阳湖流域耦合协调度变化

Table 6 Variations in coupling coordination degree in Poyang Lake Basin from 2005 to 2023

指 标	2005 年	2008 年	2010 年	2013 年	2015 年	2018 年	2020 年	2023 年
严重失调占比/%	1.23	1.23	1.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
中度失调占比/%	53.09	35.80	23.46	13.58	8.64	7.41	6.17	4.94
拮抗占比/%	37.04	53.09	65.43	67.90	64.20	43.21	30.86	20.99
磨合占比/%	8.64	9.88	9.88	18.52	27.16	46.91	59.26	66.67
良好协调占比/%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.47	3.70	7.41
最大值	0.594	0.617	0.647	0.682	0.690	0.706	0.772	0.799
最小值	0.066	0.125	0.198	0.272	0.291	0.293	0.285	0.276
均值	0.393	0.416	0.433	0.455	0.480	0.506	0.523	0.531
耦合协调等级	中度失调	拮抗	拮抗	拮抗	拮抗	磨合	磨合	磨合

其数值变化与空间分布分别如表 6 所列、图 1 所示。

由表 6 可以看出,在考察的八个年份中,鄱阳湖流域耦合协调度均值分别为 0.393、0.416、0.433、0.455、0.480、0.506、0.523、0.531,呈现稳步增长趋势,整体从中度失调提升至拮抗、磨合阶段,年均增速 1.69%,总增幅 35.1%。在 2013—2018 年期间增速较快,原因可能与生态补偿试点、长江中游城市群等政策对当地生态环境的改善以及促进经济发展有关。从耦合协调的阶段分布来看,总体呈倒 U 分布,以中间值为主,高值和低值相对较少,较多区县处于 0.2~0.7 之间。就各阶段占比而言,处于中度失调、拮抗阶段的区县明显减少,处于磨合、良好协调阶段的区县明显增加,其中处于磨合阶段的区县数量增加最多,处于中度失调阶段的区县大幅减少,处于良好协调阶段的区县占比增加 7.41%,总体发展态势向好。

由图 1 可知,2005 年除南昌和九江都市圈外,其他区县普遍处于较低的耦合协调水平;到 2013 年研究区耦合协调水平提升明显,北部和南部地区可能存在高耦合协调区对周边的带动作用,耦合协调度较高的区县在北部形成连片聚集;2023 年,研究区耦

合协调水平整体呈北高中低的分布,原因可能是南北两边生态较好,有丰富的湖泊和森林资源,中间如鹰潭市辖区、高安市、吉安县等区县建设用地面积较多,城镇化水平较高,生态条件相对较为薄弱。这与邱坚等^[15]的研究结果相近,即生态系统服务与人类福祉的耦合协调关系以前者为刚性主导,后者则起到弹性的促进或约束作用。

2.3 耦合协调度的空间效应

2.3.1 空间相关性

如表 7 所列,鄱阳湖流域生态系统服务与人类福祉耦合协调度在 2005—2023 年的全局 Moran's I 指数均大于 0,均通过了 p 值小于 1% 的显著性检验。表明研究区内耦合协调度存在显著的空间正相关,即具有较高(或较低)耦合协调值的区县在空间上趋于聚集。研究期间,莫兰指数值呈现先降再增最后下降的波动变化趋势,这种波动变化可能与 2008 年的金融危机以及 2020 年的新冠疫情导致人们收入降低,使得环境保护力度减弱有关。

进一步运用局部莫兰指数识别鄱阳湖流域耦合协调度在县域尺度上高低值的聚集情况,如图 2 所示。由图可以看出,鄱阳湖流域主要存在高-高、高-低、

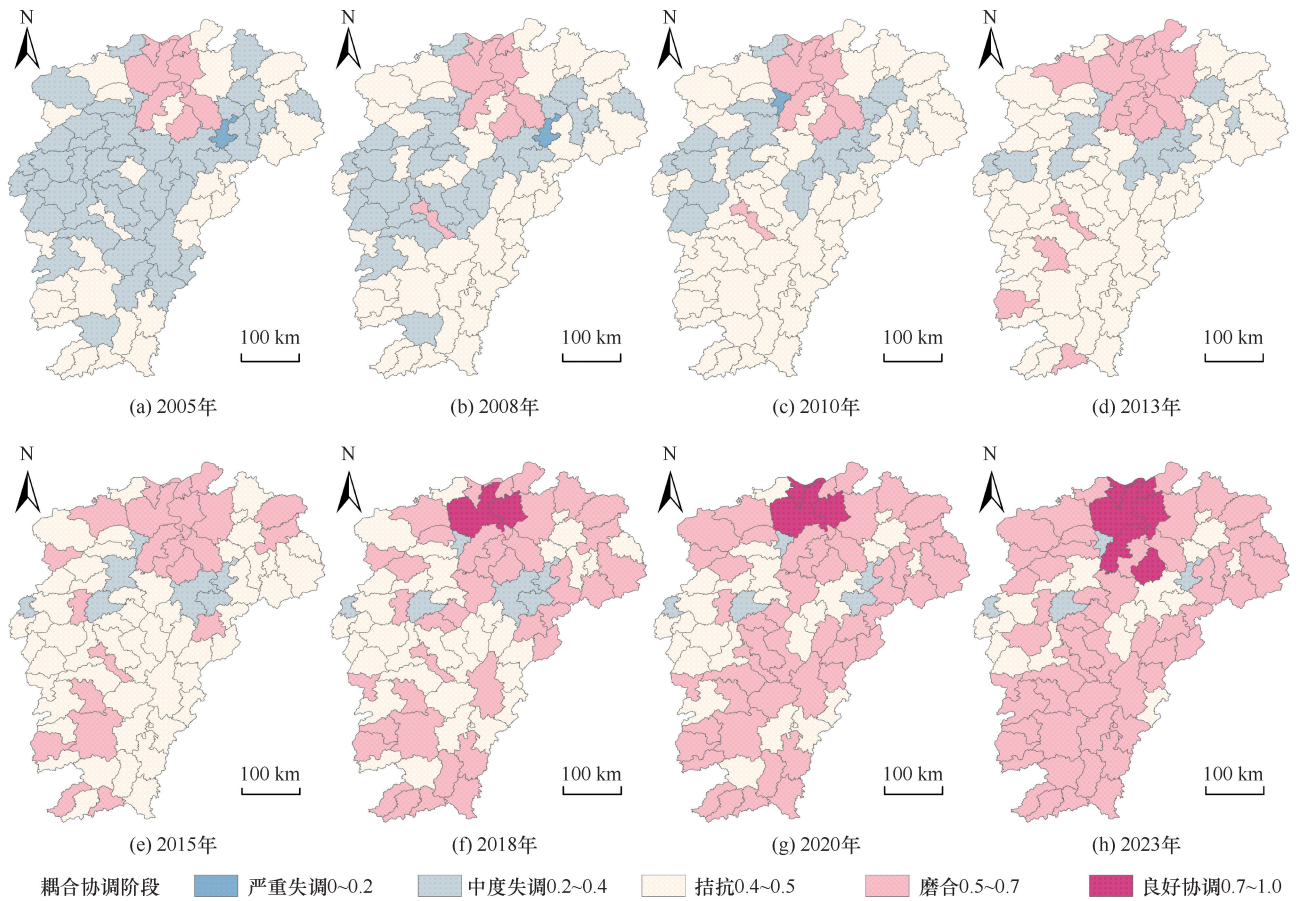


图1 2005—2023年鄱阳湖流域耦合协调度空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of coupling coordination degree in Poyang Lake Basin from 2005 to 2023

表7 2005—2023年耦合协调度的全局莫兰指数

Table 7 Global Moran's index of coupling coordination degree from 2005 to 2023

指数	2005年	2008年	2010年	2013年	2015年	2018年	2020年	2023年
<i>Global Moran's I</i>	0.255	0.246	0.245	0.316	0.304	0.327	0.323	0.321
<i>z</i>	3.953	3.759	3.715	4.709	4.534	4.849	4.819	4.782
<i>p</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

低-高、低-低四种聚集类型,其中高-高和低-低聚集类型均呈现扩张趋势。高-高聚集类型主要分布在鄱阳湖周边,该地水资源丰富,经济发达,整体处于较高的耦合协调水平;低-高和低-低聚集类型主要分布在瑞昌市、安义县、萍乡市辖区等侧重工业发展的区县,且低-低聚集在宜春和萍乡市辖区周边有往东部扩张的趋势;高-低聚集较为稳定,主要分布在贵溪市。

2.3.2 空间计量模型参数估计结果

为验证研究区耦合协调度的影响因素,在前文耦合协调度存在显著正向空间自相关的结论上,借助空间计量模型进一步探析研究所选自变量对耦合协调度的影响作用。首先使用StataMP 17软件进行空间计量模型的选择与检验(见表8)。

从LM检验结果来看,除robust-LM-error的*p*值在0.1水平上显著外,另外三个统计结果均在0.01水平上显著,说明可选用空间滞后模型和空间误差模型;Hausman检验结果显著,说明选择固定效应模型能够更好地控制未观测到的个体异质性问题;两个固定效应检验结果均显著,说明应当采用个体和时间双固定的空间模型;LR检验结果均显著,说明空间杜宾模型不可简化为空间滞后模型或空间误差模型。据此,论文采用考虑时间和个体固定效应的空间杜宾模型进行后续分析。

根据空间杜宾模型的估计结果(见表9),耦合协调度的 ρ 为0.4995,通过1%的显著性检验,说明研究区生态系统服务与人类福祉的耦合协调发展存在显著的空间溢出效应,即本地耦合协调发展水平提升

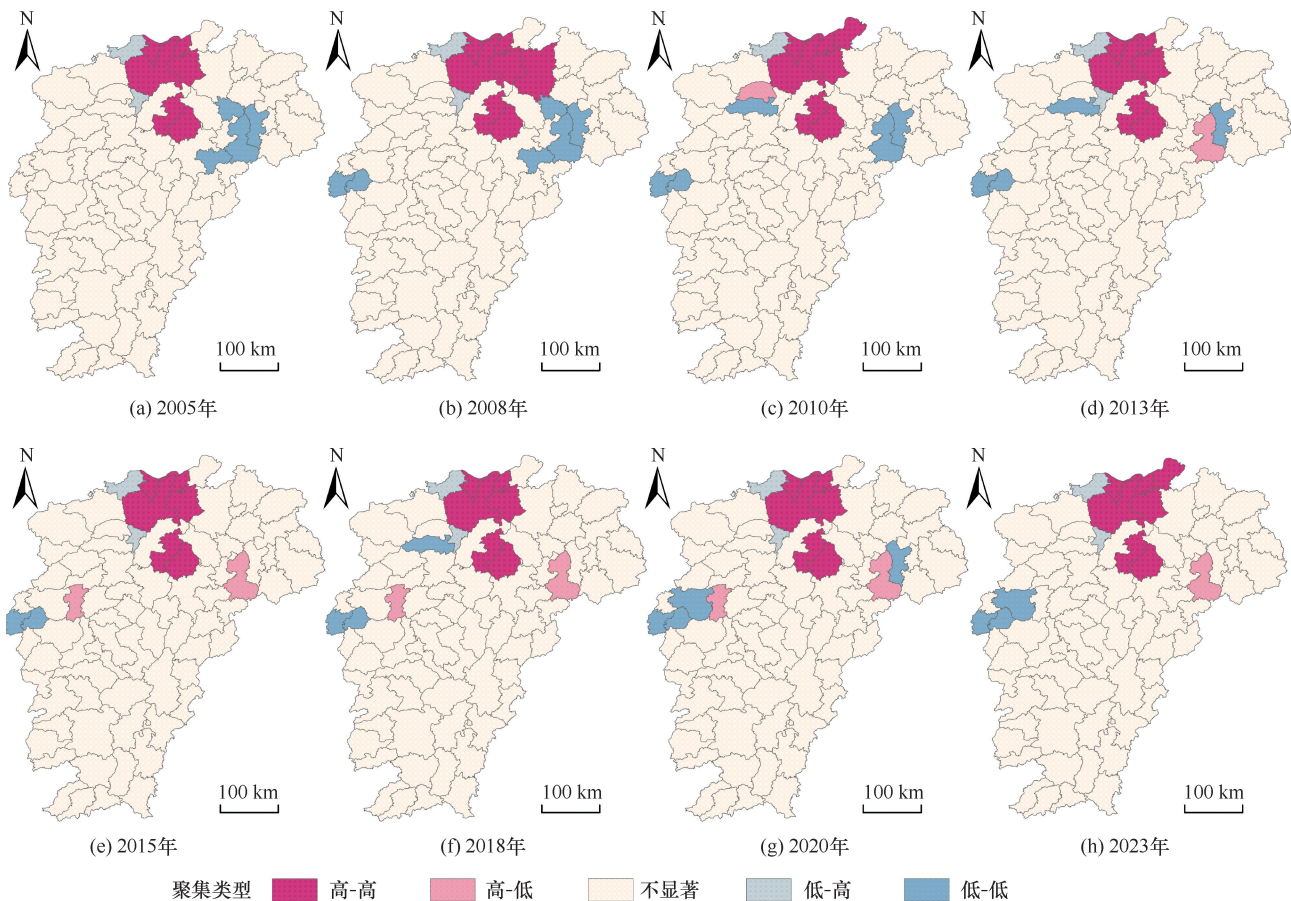


图 2 2005—2023 年耦合协调度的空间聚集类型分布

Fig. 2 Distribution of spatial clustering types of coupling coordination degree from 2005 to 2023

表 8 空间计量模型检验结果

Table 8 Verification results of spatial econometric model

空间计量模型检验		统计量	<i>p</i> 值	空间计量模型检验		统计量	<i>p</i> 值
LM 检验	LM-lag	141.144	0.000	固定效应检验	LR-both/ind	102.87	0.000
	LM-error	87.648	0.000		LR-both/time	1871.22	0.000
稳健性 LM 检验	robust LM-lag	56.282	0.000	LR 检验	LR-SDM/SEM	78.05	0.000
	robust-LM-error	2.786	0.095		LR-SDM/SAR	193.07	0.000
Hausman 检验	Hausman test	108.88	0.000				

表 9 耦合协调度的空间杜宾模型 (SDM) 估计结果

Table 9 Spatial Durbin Model (SDM) estimation results of coupling coordination degree

解释变量	系数	解释变量	系数
<i>PLN</i>	0.000 1** (2.50)	$W \times PLN$	0.000 2** (2.35)
<i>GOV</i>	-0.008 0** (-2.46)	$W \times GOV$	0.023 6*** (5.01)
<i>NPP</i>	-0.121 3*** (-2.61)	$W \times NPP$	0.215 5*** (4.17)
<i>INS</i>	0.019 2*** (3.22)	$W \times INS$	0.026 4*** (3.16)
<i>IED</i>	0.009 1*** (3.86)	$W \times IED$	0.014 0*** (3.74)
空间滞后回归系数 ρ	0.499 5***	空间误差回归系数 λ	0.000 2***
观测值 <i>obs</i>	648	拟合优度 R^2	0.891 6

注: ** 和 *** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著, 括号内为 *z* 值, 下同。

能够促进邻近区县耦合协调发展水平提升, 说明对耦合协调度进行实证分析时使用空间计量模型的稳健性

较好, 也表明研究所选因素对研究区耦合协调发展在一定程度上存空间效应。

表 10 耦合协调度影响因素的空间效应分解

Table 10 Spatial effect decomposition of influencing factors of coupling coordination degree

类型	PLN	GOV	NPP	INS	IED
直接效应	0.000 1*** (3.13)	-0.005 7** (-2.09)	-0.097 7** (-2.07)	0.024 3*** (3.86)	0.011 0*** (4.16)
间接效应	0.000 4*** (3.75)	0.036 1*** (5.04)	0.274 5*** (4.57)	0.063 5*** (5.53)	0.033 2*** (5.64)
总效应	0.000 5*** (4.49)	0.030 3*** (3.93)	0.176 7*** (4.82)	0.087 8*** (7.14)	0.044 2*** (6.77)

2.3.3 空间效应及其分解结果

在前文空间计量模型的基础上,进一步将自变量的空间效应进行分解,结果如表 10 所列。

(1)经济活力每提升 1%,本地耦合协调度就会增涨 0.000 5%,其中直接效应贡献 0.000 1%,间接效应(也叫空间溢出效应)贡献 0.004%,均在 1%水平上显著。表明本地和邻近区县人均夜间灯光数的增加均有助于提升本地生态系统服务与居民福祉的耦合协调水平。王圣云等^[47]认为地均夜间灯光增加能够促进鄱阳湖流域人类福祉提升,但也对邻近区县存在“虹吸效应”导致周边区县福祉水平降低。夜间灯光数据可用于估算当地的碳排放^[49],朱媛媛等^[50]发现人口密度、碳排放总量与长江中游的生态福利绩效呈现显著正相关性。前者与本文选取指标不同,后者与本文研究结果相近。考虑到不同区县的总面积差异较大(如修水县总面积是安义县的 6.7 倍多),使用地均夜间灯光数的可比性较弱;且人类经济活动的范围往往集中在建设用地内的商业区域等,故本文认为使用人均夜间灯光数更能反映经济层面的影响程度。一般而言,较大的人口密度往往伴随着较高的碳排放总量,即更高的人均夜间灯光总量,而人均夜间灯光总量增加意味着经济的稳定增长和外来资金的持续投入,能够为当地带来更多的就业机会、收入类型、环境治理投入、生态技术创新以及绿色产业的发展。另一方面,经济活力还能通过区域间的经济联系、资源流动、技术扩散和环境协同治理等途径提升双方的生态-经济转换效率,从而推动整体区域生态系统服务与人类福祉的协同提升。

(2)政府干预的直接影响为负,其间接影响为正,表明政府干预对本地耦合协调水平存在负面影响,但邻近区县的政府干预增加却能够提升本地的耦合协调水平。栗向阳等^[51]认为政府行政能力提升对县域低碳生产存在消极影响,孔凡斌等^[45]认为人均公共财政支出对生态系统服务供给与人类福祉的耦合协调水平存在显著负面影响,但王圣云等^[47]认为人均公共财政支出增加能够提升鄱阳湖流域公共服务质量进而提升人类福祉水平。可能的原因是当人类福祉处于较低水平时,政府干预能够通过经济政策、民生

工程等方式改善人们的生活条件从而提升福祉水平,但在一定程度上这也意味着生态用地面积会因公共基础设施等建设用地面积扩张而导致减少,尤其是当空间布局不合理时人类对生态的胁迫性会明显增强。另一方面,邻近区县政府干预增加(如交通设施、跨区交流等政策行动),意味着两个区县之间资源、人才等生产要素流动更为便利,当二者形成良好的资源优势互补形态时能够极大提升双方的生态-经济转换效率,进而推动区域耦合协调水平整体提升。

(3)植被质量对耦合协调度的直接效应系数在 5%的显著性水平上为负,而间接效应系数在 1%的显著性水平上为正。这一结果表明鄱阳湖流域可能存在一定程度的“资源诅咒”现象,即资源越丰富的县域未必福祉水平越高。这与臧正等^[52]认为中部省份存在诅咒边缘区、郑德凤等^[7]认为中部地区生态-经济转换效率较低但持续提升的研究结果相近。一方面,资源富裕区的人们相比资源匮乏区更容易形成以资源为主的产业结构^[53],资源富集使得当地居民在资源利用效率上的技术提升意愿同样弱于匮乏区,最终导致当地经济发展速度远低于资源匮乏区。另一方面,邻近区县植被质量增加意味着他们有更多的资源利用效率和环境保护需求,能够通过生态旅游、资源管理等方式促进经济和生态的同步增涨,对周边区县耦合协调发展产生积极带动作用。

(4)产业结构对耦合协调度的效应系数均为正,且在 1%水平上显著,说明本县和邻县增加第三产业占比均能对本地的耦合协调发展产生显著正向影响。这与黎振强等^[54]发现产业结构升级对生态效率具有显著的促进作用的研究结果相近。第三产业更依赖于人力资源、信息和技术,这些资源的使用对环境的直接影响较小,并且产生的污染物和温室气体远低于制造业和重工业,能够减少对自然资源的过度依赖和破坏。产业结构优化能够推动社会从传统的资源密集型向知识和技术密集型转变,提升生态-经济转换效率,实现耦合协调发展。

(5)工业发展对耦合协调的效应系数均为正,且在 1%水平上显著,说明工业发展同样对本地生态系统服务与人类福祉耦合协调发展存在正向作用,这与

孔凡斌等^[45]发现规模以上企业个数对耦合协调水平存在积极影响的研究结果相近。工业发展能够吸引更多的公共和私人投资, 促使产业结构向更高效多元的方向发展, 进而提供更多的就业机会, 为人类福祉提供更多支撑。除此之外, 工业发展通常伴随着规模经济和集聚效应的提升, 这种集聚可以促进资源的高效利用, 包括共享基础设施、减少运输成本和促进知识的交流, 从而减少对自然资源的整体消耗和环境的破坏。

综上所述, 本地耦合协调度增涨主要受到邻近区县经济活力、政府干预、植被质量、产业结构、工业发展的溢出效应影响, 影响效应呈植被质量>产业结构>政府干预>工业发展>经济活力的格局; 除此之外, 还需要注意政府干预和植被质量对本地耦合协调度的负向直接效应。

3 研究结论

本文通过构建人类福祉评价指标体系、修正的当量因子法、耦合协调度模型、空间计量模型等, 探析2005—2023 鄱阳湖流域的时空耦合协调关系及空间效应, 主要得到如下结论。

(1)2005—2023 年, 研究期间鄱阳湖流域整体处于“生态系统服务价值波动下降, 人类福祉持续提升”阶段; 耦合协调度从 0.393 增至 0.531, 从中度失调过渡至磨合阶段, 呈现北高中低的分布。

(2)耦合协调度呈现显著的正向聚集, 空间相关性呈先降后增再降的趋势。整体高值聚集较为稳定, 低值聚集出现转移: 高聚集类型主要分布在鄱阳湖周边, 低聚集类型从鹰潭市周边转移至瑞昌市、安义县等侧重工业的区县, 并且在宜春市辖区周边存在扩张趋势。

(3)本地耦合协调度增涨主要受到邻近区县植被质量、产业结构、政府干预、工业发展、经济活力的正向溢出效应影响, 其次为产业结构、工业发展、经济活力的直接效应影响, 植被质量和政府干预对本地耦合协调度发展存在负面影响。

4 对策建议

基于上述研究结论, 本文认为提升鄱阳湖流域耦合协调发展水平的关键在于扭转政府干预、植被质量对本地的负向作用, 并通过调整产业结构、推动工业发展等方式实现整体耦合协调发展水平的一体化提升, 据此提出如下政策建议: 一是刚性管控生态用地面积, 调整建设用地扩张速度。土地是生态系统服务

供给的基础, 在生态文明背景下, 应注重加强对植被和水域的保护和恢复, 实施生态修复、补偿和管理等措施, 以支撑人类福祉的持续提升。二是加强跨区域合作交流活动。鉴于耦合协调度高值聚集的稳定性, 建议在鄱阳湖周边等高聚集区域推广成功的生态保护和人类福祉提升模式。同时, 应对低值聚集区域进行重点干预, 防止其负面影响扩散。三是调整产业结构和工业发展模式。产业结构和工业发展对耦合协调度的正面影响表明, 应进一步优化产业结构, 提升第三产业的比重, 同时推动工业向清洁、高效和可持续方向发展, 减少对生态环境的负面影响。四是发挥政府干预的正向作用, 重视邻近区县间的溢出效应。政府干预对本地耦合协调度发展存在的负面影响提示, 需要重新审视和调整政府干预的方式和力度。除此之外, 还应充分考虑邻近区县间的溢出效应, 通过完善区域合作机制, 促进资源共享、信息互通和技术交流, 以提升整体的耦合协调水平。五是增强经济活力与生态保护的协同。通过发展绿色、低碳经济等方式实现经济增长与生态环境保护的共赢。

参考文献 (References):

- [1] 王琳杰, 曾贤刚, 段存儒, 等. 鄱阳湖沉积物重金属污染影响因素分析: 基于 STIRPAT 模型[J]. 中国环境科学, 2020, 40(8): 3683-3692.
WANG L J, ZENG X G, DUAN C R, et al. Analysis on influencing factors of heavy metal pollution in sediments of Poyang Lake based on STIRPAT Model[J]. China Environmental Science, 2020, 40(8): 3683-3692.
- [2] 王容, 李相虎, 薛晨阳, 等. 1960—2012 年鄱阳湖流域旱涝急转事件时空演变特征[J]. 湖泊科学, 2020, 32(1): 207-222.
WANG R, LI X H, XUE C Y, et al. Spatio-temporal variations of the drought-flood abrupt alternation events in the Lake Poyang Basin from 1960 to 2012[J]. Journal of Lake Sciences, 2020, 32(1): 207-222.
- [3] 段鹏, 陈文波, 杨欢, 等. 生境破碎化过程对流域生境质量的影响[J]. 生态学报, 2024, 44(14): 6053-6066.
DUAN P, CHEN W B, YANG H, et al. Influence and interactions of habitat fragmentation processes on habitat quality in watersheds[J]. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(14): 6053-6066.
- [4] COSTANZA R, D'ARGE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Ecological Economics, 1998, 25(1): 3-15.
- [5] 王圣云, 罗玉婷, 韩亚杰, 等. 中国人类福祉地区差距演变及其影响因素: 基于人类发展指数(HDI)的分析[J]. 地理科学进展, 2018, 37(8): 1150-1158.
WANG S Y, LUO Y T, HAN Y J, et al. Regional difference and determinants of human well-being in China: Based on the analysis of human development index [J]. Progress in Geography, 2018, 37

- (8): 1150-1158.
- [6] ASSESSMENT M E. Ecosystems and human well-being: Synthesis [J]. *Physics Teacher*, 2005, 34(9): 534-534.
- [7] 郑德凤, 王燕燕, 曹永强, 等. 基于生态系统服务的生态福祉分类与时空格局: 以中国地级及以上城市为例[J]. *资源科学*, 2020, 42(6): 1110-1122.
- ZHENG D F, WANG Y Y, CAO Y Q, et al. Classification and spatiotemporal patterns of ecological well-being based on ecosystem services: Taking China's prefecture-level and above cities for example [J]. *Resources Science*, 2020, 42(6): 1110-1122.
- [8] FISCHER J, RIECHERS M, LOOS J, et al. Making the UN decade on ecosystem restoration a social-ecological endeavour [J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2021, 36(1): 20-28.
- [9] SMITH K E, BURROWS M T, HOBDAI A J, et al. Socioeconomic impacts of marine heatwaves: Global issues and opportunities [J]. *Science*, 2021, 374(6566): eabj3593.
- [10] 陈茂林, 官冬杰, 孙灵丽, 等. 三峡库区生态系统服务对农户生计贡献率测算及影响分析[J]. *水土保持研究*, 2023, 30(1): 397-407.
- CHEN M L, GUAN D J, SUN L L, et al. Calculation and analysis of the contribution rate of ecosystem services to farmers' livelihoods in the Three Gorges Reservoir area [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2023, 30(1): 397-407.
- [11] LIU L M, MA Q, SHANG C W, et al. How does the temporal relationship between ecosystem services and human wellbeing change in space and time? Evidence from Inner Mongolian drylands [J]. *Journal of Environmental Management*, 2023, 339: 117930.
- [12] 杨雪婷, 邱孝枰, 朱付彪, 等. 长江上游重点生态功能区生态系统服务福祉效应与层级差异研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2023, 32(4): 797-808.
- YANG X T, QIU X P, ZHU F B, et al. Impacts of ecosystem services on human wellbeing and hierarchical differences in key ecological function areas of Upper Yangtze River [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2023, 32(4): 797-808.
- [13] 张超正, 杨钢桥, 陈丹玲, 等. 长江中游生态系统服务供需平衡与居民福祉耦合的时空特征[J]. *农业工程学报*, 2024, 40(2): 356-368.
- ZHANG C Z, YANG G Q, CHEN D L, et al. Spatiotemporal coupling relationship between supply-demand balance of ecosystem services and welfare of residents in the Middle Reaches of the Yangtze River [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2024, 40(2): 356-368.
- [14] SUN C Z, PAN S Y, ZHOU Q W, et al. Measuring ecological well-being based on the degree of ecosystem service supply and demand matching in Shenzhen, China [J]. *Ecological Indicators*, 2024, 166: 112414.
- [15] 邱坚坚, 刘毅华, 陈澄静, 等. 生态系统服务与人类福祉耦合的空间格局及其驱动方式: 以广州市为例[J]. *自然资源学报*, 2023, 38(3): 760-778.
- QIU J J, LIU Y H, CHEN C J, et al. Spatial structure and driving pathways of the coupling between ecosystem services and human well-beings: A case study of Guangzhou [J]. *Journal of Natural Resources*, 2023, 38(3): 760-778.
- [16] 赵燕萍, 李涛, 齐增湘, 等. 基于生态系统服务价值和人类福祉的湖南省生态补偿分配[J]. *陕西师范大学学报(自然科学版)*, 2022, 50(4): 103-114.
- ZHAO Y P, LI T, QI Z X, et al. Payments of ecosystem services allocation in Hunan Province based on the value of ecosystem services and human well-being [J]. *Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition)*, 2022, 50(4): 103-114.
- [17] 刘迪, 陈海, 王麒菲, 等. 黄土丘陵沟壑区村庄生态系统服务对人类福祉的影响机理: 以陕西省米脂县为例[J]. *水土保持研究*, 2024, 31(3): 69-78.
- LIU D, CHEN H, WANG Q F, et al. Mechanisms of the impact of village ecosystem services on human well-being in the loess hilly and Gully Region: Case study of Mizhi County, Shaanxi Province [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2024, 31(3): 69-78.
- [18] 符琳蓉, 任以胜, 陆林, 等. 新安江流域生态系统服务福祉效应及实现路径研究: 基于 798 份乡村居民问卷调查的实证分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2023, 32(10): 2109-2123.
- FU L R, REN Y S, LU L, et al. Effect of well-being of ecosystem services in Xin'an River Basin and the realization path: An empirical analysis based on 798 questionnaires of rural residents [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2023, 32(10): 2109-2123.
- [19] LIU L M, WU J G. Ecosystem services-human wellbeing relationships vary with spatial scales and indicators: The case of China [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2021, 172: 105662.
- [20] 郑德凤, 王燕燕, 刘晓星, 等. 基于生态系统服务的中国生态福祉区划时空格局与潜力分析[J]. *生态与农村环境学报*, 2020, 36(5): 645-653.
- ZHENG D F, WANG Y Y, LIU X X, et al. Temporal-spatial pattern and potential analysis of China's ecological well-being zone based on ecosystem services [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2020, 36(5): 645-653.
- [21] 杨雪婷, 邱孝枰, 徐云, 等. 典型山区生态系统服务对居民福祉影响的空间差异及动态特征: 以川西山区为例[J]. *生态学报*, 2021, 41(19): 7555-7567.
- YANG X T, QIU X P, XU Y, et al. Spatial heterogeneity and dynamic features of the ecosystem services influence on human wellbeing in the West Sichuan Mountain Areas [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(19): 7555-7567.
- [22] 赵文武, 刘月, 冯强, 等. 人地系统耦合框架下的生态系统服务[J]. *地理科学进展*, 2018, 37(1): 139-151.
- ZHAO W W, LIU Y, FENG Q, et al. Ecosystem services for coupled human and environment systems [J]. *Progress in Geography*, 2018, 37(1): 139-151.
- [23] 邱坚坚, 刘毅华, 袁利, 等. 人地系统耦合下生态系统服务与人类福祉关系研究进展与展望[J]. *地理科学进展*, 2021, 40(6): 1060-1072.
- QIU J J, LIU Y H, YUAN L, et al. Research progress and prospect of the interrelationship between ecosystem services and human well-being in the context of coupled human and natural system [J]. *Progress in Geography*, 2021, 40(6): 1060-1072.
- [24] 李雪敏, 李同宁, 李道政, 等. 内蒙古县域生态系统服务与居民

- 福祉耦合协调关系时空特征及影响因素研究[J]. 干旱区资源与环境, 2023, 37(7): 27-37.
- LI X M, LI T N, LI D Z, et al. Spatial-temporal characteristics of county-range coupling coordination relationship between ecosystem services and human's well-being in Inner Mongolia[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2023, 37(7): 27-37.
- [25] 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.
- [26] TAN Y B, HU N, HUANG M T, et al. Spatial-temporal evolution and correlation analysis of human activity intensity and resource carrying capacity in the region around Poyang Lake, China, from 2010 to 2020[J]. Land, 2023, 12(12): 2139.
- [27] 李硕硕, 刘耀彬, 骆康. 环鄱阳湖县域新型城镇化对碳排放强度的空间溢出效应[J]. 资源科学, 2022, 44(7): 1449-1462.
- LI S S, LIU Y B, LUO K. Spatial spillover effect of new-type urbanization on carbon emission intensity in counties around the Poyang Lake[J]. Resources Science, 2022, 44(7): 1449-1462.
- [28] 徐启渝, 王鹏, 王涛, 等. 土地利用结构与景观格局对鄱阳湖流域赣江水质的影响[J]. 湖泊科学, 2020, 32(4): 1008-1019.
- XU Q Y, WANG P, WANG T, et al. Investigation of the impacts of land use structure and landscape pattern on water quality in the Ganjiang River, Lake Poyang Basin[J]. Journal of Lake Sciences, 2020, 32(4): 1008-1019.
- [29] 庞洁, 丘水林, 靳乐山. 生态补偿政策对农户湿地保护意愿及行为的影响研究: 以鄱阳湖为例[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(12): 2982-2991.
- PANG J, QIU S L, JIN L S. Effect of eco-compensation policy on farmers' willing and behavior of wetlands ecological protection: Based on Poyang Lake[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2021, 30(12): 2982-2991.
- [30] 单录铤, 王海军, 张彬, 等. 顾及土地生态安全的环鄱阳湖城市群土地利用情景模拟[J]. 地球信息科学学报, 2020, 22(3): 543-556.
- SHAN L Y, WANG H J, ZHANG B, et al. Land use simulation of the city clusters around Poyang Lake based on land ecological security assessment[J]. Journal of Geo-Information Science, 2020, 22(3): 543-556.
- [31] 张海铃, 叶长盛, 胡梦姝. 基于生态安全格局的环鄱阳湖城市群生态修复关键区域识别及修复策略[J]. 水土保持研究, 2023, 30(2): 393-402.
- ZHANG H L, YE C S, HU M S. Identification and restoration strategy of key areas of ecological restoration in urban agglomeration around Poyang Lake based on ecological security pattern[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(2): 393-402.
- [32] 胡振鹏, 黄晓杏, 傅春, 等. 环鄱阳湖地区旅游产业-城镇化-生态环境交互耦合的定量比较及演化分析[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(12): 2012-2020.
- HU Z P, HUANG X X, FU C, et al. The quantitative comparison and evolutionary analysis on interactive coupling among tourism, urbanization and ecological environment in Poyang Lake Area[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(12): 2012-2020.
- [33] 任栋, 吴翔, 曹改改. 中国各地人类发展水平的测度与影响因素分析[J]. 中国人口科学, 2020(1): 41-52.
- REN D, WU X, CAO G G. Measurement of human development level in China and its influencing factors[J]. Chinese Journal of Population Science, 2020(1): 41-52.
- [34] 胡鞍钢, 石智丹, 唐啸. 中国地区 HDI 指数差异持续下降及影响因素(1982—2015)[J]. 新疆师范大学学报(哲学社会科学版), 2018, 39(4): 47-55.
- HU A G, SHI Z D, TANG X. The continuous decrease of China's HDI regional disparity and its causes(1982—2015)[J]. Journal of Xinjiang Normal University (Edition of Philosophy and Social Sciences), 2018, 39(4): 47-55.
- [35] 资明贵, 张春燕, 罗静, 等. 人—居—业协同下山区县域福祉水平格局及其演变机理: 以大别山区 27 县为例[J]. 经济地理, 2024, 44(1): 88-98.
- ZI M G, ZHANG C Y, LUO J, et al. Pattern and evolution mechanism of well-being level in mountainous counties from a perspective of human-living-industry synergy: A case study of 27 counties in the Dabie Mountains[J]. Economic Geography, 2024, 44(1): 88-98.
- [36] 田建国, 庄贵阳, 庄庄瑞. 新时代中国人福祉的理论框架和测量[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(12): 9-18.
- TIAN J G, ZHUANG G Y, ZHU Z R. Theoretical framework and measurement of human well-being in the New Era of China[J]. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(12): 9-18.
- [37] ABURTO J M, SCHÖLEY J, KASHNITSKY I, et al. Quantifying impacts of the COVID-19 pandemic through life-expectancy losses: A population-level study of 29 countries[J]. International Journal of Epidemiology, 2022, 51(1): 63-74.
- [38] 李昂, 米长虹, 杨琰瑛, 等. 京津冀地区生态系统服务与居民福祉时空分异及耦合协调关系[J]. 生态经济, 2023, 39(4): 170-178.
- LI A, MI C H, YANG Y Y, et al. Spatial-temporal differentiation and coupling coordination between ecosystem services and human well-being in Beijing-Tianjin-Hebei Region[J]. Ecological Economy, 2023, 39(4): 170-178.
- [39] ZHANG Y, ZHANG Y J, ZHANG H, et al. Evaluation on new first-tier smart cities in China based on entropy method and TOPSIS[J]. Ecological Indicators, 2022, 145: 109616.
- [40] 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.
- [41] 刘家根, 黄璐, 严力蛟. 生态系统服务对人类福祉的影响: 以浙江省桐庐县为例[J]. 生态学报, 2018, 38(5): 1687-1697.

- LIU J G, HUANG L, YAN L J. Influence of ecosystem services on human well-being: A case study of Tonglu County, Zhejiang Province, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(5): 1687-1697.
- [42] 徐丽芬, 许学工, 罗涛, 等. 基于土地利用的生态系统服务价值当量修订方法: 以渤海湾沿岸为例[J]. *地理研究*, 2012, 31(10): 1775-1784.
- XU L F, XU X G, LUO T, et al. Services based on land use: A case study of Bohai Rim[J]. *Geographical Research*, 2012, 31(10): 1775-1784.
- [43] CHEN Y G. An analytical process of spatial autocorrelation functions based on Moran's index[J]. *PLoS One*, 2021, 16(4): e0249589.
- [44] 陈昕, 廖凌云, 刘铠宇, 等. 国家公园社区社会与生态福祉空间耦合协调度分析: 以武夷山国家公园 A 村为例[J]. *生态学报*, 2024, 44(12): 5159-5172.
- CHEN X, LIAO L Y, LIU K Y, et al. Spatial coupling coordination of social and ecological well-being in National Park communities: A case study of Village A in Wuyishan National Park [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2024, 44(12): 5159-5172.
- [45] 孔凡斌, 金晨涛, 徐彩瑶. 罗霄山地区生态系统服务与居民福祉耦合协调关系变化及其影响因素[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2025, 49(1): 245-254.
- KONG F B, JIN C T, XU C Y. Changes in the coupling coordination relationship between ecosystem services and residents' well-being and its influencing factors in the Luoxiao Mountain area [J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2025, 49(1): 245-254.
- [46] 傅春, 王乐志, 邓俊鹏, 等. 不同影响因素对鄱阳湖流域生境质量变化特征分析[J]. *中国农村水利水电*, 2021(11): 1-8.
- FU C, WANG L Z, DENG J P, et al. An analysis of the characteristics of habitat quality change in Poyang Lake Basin by different influencing factors[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2021(11): 1-8.
- [47] 王圣云, 潘柳欣, 刘俊莉. 鄱阳湖流域碳排放敏感性人类发展指数空间差异及驱动机制[J]. *资源科学*, 2024, 46(8): 1620-1635.
- WANG S Y, PAN L X, LIU J L. Spatial differences and driving mechanism of carbon-emission-sensitive human development index in Poyang Lake Basin[J]. *Resources Science*, 2024, 46(8): 1620-1635.
- [48] TIAN B Q, GAO P, MU X M, et al. Water area variation and river-lake interactions in the Poyang Lake from 1977—2021[J]. *Remote Sensing*, 2023, 15(3): 600.
- [49] 姜渭宗, 徐建辉, 赵田. 基于夜间灯光数据的长江流域碳排放时空格局及异质性研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2024, 33(9): 2004-2017.
- JIANG W Z, XU J H, ZHAO T. Spatio-temporal pattern and heterogeneity of carbon emissions based on multi-source nighttime light data in the Yangtze Basin [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2024, 33(9): 2004-2017.
- [50] 朱媛媛, 张瑞, 顾江, 等. “双碳”目标下长江中游城市群生态福利绩效演变及驱动机制研究[J]. *地理科学进展*, 2022, 41(12): 2231-2243.
- ZHU Y Y, ZHANG R, GU J, et al. Spatiotemporal evolution and driving mechanism of ecological well-being performance in the urban agglomeration of the middle reaches of the Yangtze River under the carbon peaking and carbon neutrality goals [J]. *Progress in Geography*, 2022, 41(12): 2231-2243.
- [51] 栗向阳, 王磊, 张宇欣. 长江经济带新质生产力发展的时空演化格局及其影响因素[J]. *长江流域资源与环境*, 2024, 33(5): 909-923.
- LI X Y, WANG L, ZHANG Y X. Spatial-temporal evolution pattern and influencing factors of development of new productivity forces along the Yangtze River economic belt[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2024, 33(5): 909-923.
- [52] 臧正, 郑德凤, 孙才志, 等. 中国大陆地区生态诅咒效应的多尺度实证检验[J]. *地理研究*, 2016, 35(5): 851-863.
- ZANG Z, ZHENG D F, SUN C Z, et al. Multi-scale empirical test of ecological curse effect in mainland of China [J]. *Geographical Research*, 2016, 35(5): 851-863.
- [53] 李江龙, 徐斌. “诅咒”还是“福音”: 资源丰裕程度如何影响中国绿色经济增长? [J]. *经济研究*, 2018, 53(9): 151-167.
- LI J L, XU B. Curse or blessing: How does natural resource abundance affect green economic growth in China? [J]. *Economic Research Journal*, 2018, 53(9): 151-167.
- [54] 黎振强, 游肖月. 数字经济发展、产业结构升级对长江经济带生态效率的影响效应[J]. *长江流域资源与环境*, 2024, 33(8): 1624-1636.
- LI Z Q, YOU X Y. Effects of the digital economy development and the industrial structure upgrading on the ecological efficiency in the Yangtze River economic belt[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2024, 33(8): 1624-1636.

(责任编辑 王海锋)