

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2026.01.008

<https://xuebao.xaut.edu.cn>

引文格式:刘昕然,朱传民,付永虎,起晓星.江西省生态福祉时空演变特征与多情景模拟预测研究[J].西安理工大学学报,2026,42(1):82-92.

Liu Xinran,Zhu Chuanmin,Fu Yonghu,Qi Xiaoxing.Spatio-temporal evolution and multi-scenario simulation prediction of ecological well-being in Jiangxi Province [J].Journal of Xi'an University of Technology,2026,42(1):82-92.

江西省生态福祉时空演变特征与 多情景模拟预测研究

刘昕然¹,朱传民¹,付永虎²,起晓星³

(1. 东华理工大学 地球与行星科学学院,江西 南昌 330013; 2. 江苏海洋大学 文法学院,江苏 连云港 222005;
3. 中山大学 政治与公共事务管理学院,广东 广州 510006)

摘要: 研究生态福祉对区域生态质量提升具有重要意义。本文以江西省为研究区,采用生态系统贡献率测度 2000—2020 年三期生态福祉,借助 PLUS 模型模拟基准顺势等 4 种情景下土地利用结构变化,分析土地利用系统演变及生态福祉时空分异。结果表明:①江西省生态福祉在研究期内呈先大幅上升后小幅下降的态势,空间分布格局为“南高北低”。②2030 年 4 种情景下,除耕地外,呈现以林地、湿地和未利用地缩减,草地、水域和建设用地扩张的特征。③2030 年,生态优先情景下生态福祉总量最多,耕地保护情景下总量最少;除南昌和新余,其余评价单元的人均生态福祉下降;生态-经济产出效率在 4 种情景下均呈现增加态势,表明将单位生态福祉转化为经济效益的能力逐步提升。④生态优先情景兼顾了生态保护和社会经济发展,能以相对少的生态土地为代价实现区域高质量发展。未来江西在高质量发展中,应协调好生态保护与发展的关系,整体实现生态优先情景的土地利用发展模式。其中,赣州、吉安可参考生态优先情景,继续突出生态特色,其他地区则以耕地保护情景为基本导向并兼顾生态优先情景。研究结果可为相关地区或部门在生态系统服务管理、生态文明建设等方面提供参考。

关键词: 生态福祉; PLUS 模型; 多情景模拟预测; 时空演变; 江西省

中图分类号: X171.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-4710(2026)01-0082-11

Spatio-temporal evolution and multi-scenario simulation prediction of ecological well-being in Jiangxi Province

Liu Xinran¹, Zhu Chuanmin¹, Fu Yonghu², Qi Xiaoxing³

(1. School of Earth and Planetary Sciences, East China University of Technology, Nanchang 330013, China;

2. School of Humanities and Law, Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222005, China;

3. School of Government, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: The study on ecological well-being is of great significance to the improvement of regional ecological quality. Taking the Jiangxi Province as the study area, this paper used the contribution rate of ecosystem to measure the ecological well-being in the three periods from 2000 to 2020. The PLUS model was used to simulate the changes of land use structure at four scenarios such as benchmark homeopathy, with the evolution of land use system and the spatial and tempo-

收稿日期: 2025-02-10; 网络首发日期: 2025-09-28

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/61.1294.N.20250926.2017.004>

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(42201275); 江西省高校人文社会科学研究规划项目(JC19101); 广东省自然科学基金资助项目(2023A1515012528)

第一作者: 刘昕然,女,硕士生,研究方向为土地利用与生态环境。E-mail: pearl_sept@163.com

通信作者: 朱传民,男,博士,副教授,研究方向为土地利用与生态环境。E-mail: chminzhu@sina.com

ral differentiation of ecological well-being analyzed. The results showed that: ①The ecological well-being of Jiangxi Province increased significantly and then decreased slightly during the study period, and that the spatial distribution pattern was ‘high in the south and low in the north’. ②At the four scenarios in 2030, except for cultivated land, forest land, wetland and unused land would reduce, and grassland, water area and construction land would expand. ③In 2030, the total amount of ecological well-being at the ecological priority scenario will be the largest, and the farmland protection scenario will be the least; in addition to Nanchang and Xinyu, the per capita ecological well-being of the remaining evaluation units will decrease; the eco-economic output efficiency will show an increasing trend in all four scenarios, indicating that the ability to consume unit ecological well-being into economic benefits will gradually improve. ④The ecological priority scenario will take into account both ecological protection and socio-economic development and achieve high-quality regional development at the cost of relatively few ecological land. In the future, Jiangxi should coordinate the relationship between ecological protection and development in the high-quality development and realize the land use development model for the ecological priority scenario as a whole. Among them, Ganzhou and Ji’an can refer to the ecological priority scenario and continue to highlight the ecological characteristics. Other regions will take the farmland protection scenario as the basic orientation and take the ecological priority scenario into account. The research results can provide a reference for relevant regions or departments in ecosystem service management and ecological civilization construction.

Key words: ecological well-being; PLUS model; multi-scenario simulation and prediction; spatio-temporal evolution; Jiangxi Province

生态系统服务是指生态系统所形成和维持的人类赖以生存和发展的环境条件与效用^[1],即人类直接或间接从生态系统得到的所有收益^[2]。生态系统功能是生态系统服务的基本来源,而人类不同层次的需求则是生态系统服务形成的基本驱动力。生态福祉是人类从自然环境中获取或享有的、由生态系统通过初级生产和次级生产(统称为生态系统生产)提供的、与人类福祉直接相关的产品与服务的生态效益之和^[3-4]。生态系统服务功能及水平关系着人类生态福祉。因此,评估和模拟预测生态福祉的时空演变特征是生态质量提升的重要研究课题。Aziz^[5]采用价值转移法对巴基斯坦7个时段的生态系统服务功能进行了评价和估算。程建等^[6]分析了2000—2010年长江流域土地利用变化的区域特征和生态系统服务功能变化。近年来,国内外学者从多维度扩展了研究视角和研究方法,相关研究主要分析了生态系统服务价值的测度及多重价值的内部时空差异^[7-8],探讨了生态系统服务价值与土地利用变化的相关性^[9-10]。随着相关研究的深入推进,生态系统服务与人类福祉研究越来越受到重视^[11-13],生态福祉的相关研究也逐渐成为热点。Feng等^[14]构建了全要素生产率产业结构绿色特征评估框架,以此测度生态福祉绩效的增长。郑德凤等^[15-16]基于生态系统服务探讨了中国生态福祉的分类与区划。付永虎等^[4, 17]基于土地利用开展了江苏省生态福祉的评估和预测研究。既有文献主要针对生态福祉现状

展开研究,较少涉及模拟预测,即使预测也仅涉及现势外推情景。而多情景模拟预测可以为政策制定者提供理论依据,对提升区域生态福祉具有重要意义。因此,本文将基于政策导向,设置基准顺势、耕地保护、经济发展和生态优先4种模拟情景,深入分析多元化情景下生态福祉的时空变化特征。

江西省承东启西,是支撑中部地区崛起、承载长江经济带发展的重要地区。近年来,随着城镇化和工业化的快速推进,区域生态福祉及居民生活环境发生了显著变化。对此,本文以江西省为研究区,引进生态系统贡献率,对其2000年、2010年和2020年生态福祉、人均生态福祉和生态-经济产出效率指标进行测度,并分析其时空演变特征,然后借助PLUS模型预测4种情景下江西省2030年的土地利用情况,进而评估未来4种情景下江西省生态福祉等指标及其空间分异特征,以期为江西省人类福祉提升、生态文明建设及区域高质量发展提供有益参考。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究区概况

江西省地处长江中下游(24°29′~30°04′N, 113°34′~118°28′E),总面积16.69万km²,总人口4502万人(2024年末常住人口),下辖11个地级市、100个县(市、区)。地势南高北低,周围高中间低,以山地、丘陵为主。研究区地处中亚热带,季风气候显

著,年平均气温 16.3~25℃,年平均降水量 1 341~1 940 mm。区内光热条件良好,自然条件优越,为农业生产等提供了理想的生态环境。全省森林覆盖率位居全国前列,分布有 6 000 多种植物。由于区位条件独特,自然资源禀赋优越,江西省具有区域生态福祉研究的典型性和代表性(图 1)。近年来,江西省新型城镇化进程加快,对生态系统造成了一定影响,部分区域生态功能退化、生态风险加剧,面临诸多生态问题。

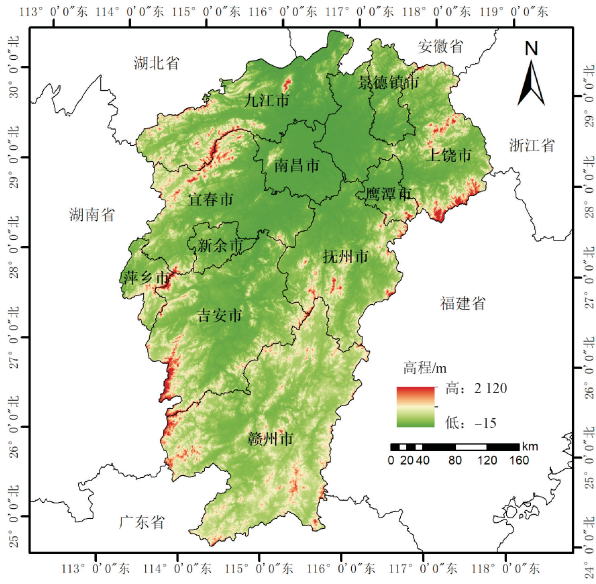


图 1 研究区示意图

Fig. 1 Location of the study area

注:此图基于国家自然资源部标准地图服务网站审图号为 GS(2024)0650 的标准地图制作,底图无修改。

1.2 研究方法与数据来源

1.2.1 基于生态系统服务的生态福祉核算

生态系统贡献率是指某类土地生态系统为人类生产生活提供产品与服务的效率^[4, 16]。本文基于生态系统服务价值理论,引入生态系统贡献率来核算区域生态福祉,公式如下:

$$W = \frac{1}{v} \cdot g \cdot \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^9 e_{ij} \cdot a_i \cdot c_i \quad (1)$$

式中: W 为现价生态福祉,万元; v 为粮食平均价格,万元/t; g 为平均粮食产量,t/hm²; e_{ij} 为第*i*类土地利用类型中第*j*种生态系统服务价值当量因子; a_i 为第*i*类土地利用类型对应的面积,hm²; c_i 为第*i*类土地利用类型的生态系统贡献率^[18]。

其中,土地利用类型包括耕地、林地、草地、湿地、水域、未利用地 6 类;生态福祉包括食物生产与供给、能源与原材料供应、娱乐及文化服务、生物多样性保护、调洪灌溉与涵养水源、土壤水分及营养盐

保持、释氧固碳及净化空气、调节区域小气候、废弃物吸纳与处理 9 类。

为使不同年份的生态福祉具有可比性,参照国家历年消费者价格指数(CPI),以 2000 年为基准,将生态福祉统一为不变价,公式如下:

$$W' = W / [1 + (I_u - I_0) / I_0] \quad (2)$$

式中: W' 为统一为不变价后的生态福祉,万元; I_u 为第*u*期 CPI 值; I_0 为基期 CPI 值。

1.2.2 人均生态福祉与生态-经济产出效率核算

人均生态福祉表征了生态福祉的供给能力,其公式为:

$$C = W' / P \quad (3)$$

式中: C 为研究区人均生态福祉,万元/人; P 为研究区常住人口,万人。

生态-经济产出效率表征了国民生产过程中单位生态福祉转化为经济效益的能力,其公式为:

$$E = G / W' \quad (4)$$

式中: E 为生态-经济产出效率; G 为统一为不变价后的地区国内生产总值,万元。

以年际序列数据为依据,结合地区生产总值年均增长发展目标预测生态-经济产出效率。其中,同比增长率是指本期和上一年同期相比的增长率。

1.2.3 基于 DGM(1, 1)的平均粮食产量预测

离散灰色模型(discrete grey model, DGM(1, 1))是灰色模型的离散形式,相较于传统灰色模型能更精确地模拟指数序列,而且对近似指数序列的模拟精度不会随序列增长速率增大而降低,能保障预测的可信性^[19],故本文采用灰色系统建模软件 GSTA V7.0 的 DGM(1, 1)模块来预测研究区 2030 年的平均粮食产量。

1.2.4 基于 PLUS 模型的土地利用模拟与验证

PLUS 模型是一个基于栅格数据的可用于斑块尺度土地利用/土地覆盖变化模拟的元胞自动机(CA)模型,它耦合了两个模块:基于土地扩张分析策略(LEAS)的规则挖掘框架和基于多类型随机种子(CARS)的 CA 模型^[20]。

LEAS 模块中,考虑到区域特点及数据的可获得性,本文从自然禀赋和社会经济维度确定了 11 个驱动因素(表 1),并将土地利用数据重分类为耕地、林地、草地、湿地、水域、建设用地、未利用地 7 类。利用欧氏距离计算距政府驻地距离等矢量数据。统一空间坐标系,重采样空间分辨率为 30 m。

CARS 模块中,参考《江西省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》(简称《纲要》)等政策文件并根据历史土地利用数据和已

有研究,对土地利用转移矩阵进行设定^[21-22]。同时,选取扩张强度作为各情景土地利用模拟的邻域权重。

考虑到 Kappa 系数在数据结果一致性检验中存在一定的局限性,本文同时选取 Kappa 系数和 FoM 值来检验模拟结果的准确度,以保证 PLUS 模

型模拟的可靠性。通常情况下,Kappa 系数在 0.8 以上表示模拟精度较高;FoM 值通常小于 0.3,0.1~0.2 为标准水平,大于 0.21 则表明模型具有较强的适用性^[23]。

表 1 数据来源
Tab.1 Data sources

数据类型	数据名称	空间分辨率	数据来源
土地利用数据	2000 年、2010 年和 2020 年 土地利用数据	30m	中国科学院资源环境科学数据平台 (https://www.resdc.cn/)
	DEM 数据	30m	地理空间数据云平台 (https://www.gscloud.cn/)
自然本底因子	坡度		通过提取分析 DEM 数据获得
	坡向		
社会经济因子	年均气温	1km	中国科学院资源环境科学数据平台 (https://www.resdc.cn/)
	年均降水		
	人口	WorldPop 平台(https://hub.worldpop.org/)	
	GDP	中国科学院资源环境科学数据平台 (https://www.resdc.cn/)	
限制区域因子	距政府驻地距离	矢量 数据	OpenStreetMap 平台 (https://www.openstreetmap.org/)
	距铁路距离		
	距水面距离		
	距国道和省道距离		
社会经济 统计数据	自然保护区范围	中国科学院资源环境科学数据平台 (https://www.resdc.cn/)	
	粮食平均价格	—	《全国农产品成本收益资料汇编》(2001,2011 和 2021 年)
	平均粮食产量	—	各地市统计年鉴(2001—2011 年) 《国民经济和社会发展统计公报》(2011—2022 年)
	GDP	—	《江西统计年鉴》(2001—2023 年)
	人口数量	—	

注:因涉及预测,社会经济统计数据选取逐年序列数据。

1.2.5 多情景设置

为探究不同发展目标下江西省土地利用变化状态,基于政策导向设置基准顺势、耕地保护、经济发展与生态优先 4 个情景。

首先,考虑粮食安全,严格保护耕地,将三期重合耕地和坡度小于 6°的耕地设定为不可变耕地,并将自然保护区和水域也设定为限制区域。其次,结合现有研究,根据各情景特点,设置相应的用地转移概率变量^[24-25]。

1) 基准顺势情景(BH)。该情景中,除限制区外,

不设置人为因素或政策因素对各地类之间演化的限制,仅按研究期间的历史发展规律扩张,进行土地利用的模拟预测。该情景是其余 3 种情景的基础。

2) 耕地保护情景(FP)。根据《江西省国土空间规划(2021—2035 年)》,目前全省耕地资源有限,人均耕地资源仅相当于全国人均水平的 2/3,部分耕地面临质量下降风险,耕地保护压力突出。考虑到耕地质量和数量对粮食安全有直接影响,因此设置耕地保护情景。

参数设置:除限制区外,耕地向建设用地的转换

概率减少 60%、向林地和草地的转换概率减少 30%，未利用地向耕地的转换概率增加 40%，其余地类向耕地的转换概率增加 20%。

3) 经济发展情景(ED)。结合《纲要》中主要经济指标的增速,优先考虑建设用地合理扩张,增加其他地类转入建设用地的概率,降低建设用地的转出概率。

参数设置:除限制区外,建设用地向耕地的转换概率不变,向其他地类的转换概率降低 30%，未利用地向建设用地的转换概率增加 50%，其他地类增加 20%。

4) 生态优先情景(EP)。根据《江西省“十四五”生态环境保护规划》和《江西省“十四五”生态环境监测规划》，目前省内部分地区的生态环境问题依然严重,生产生活受到影响。江西省生态环境保护处于重要的战略机遇期,因此设置生态优先情景。

参数设置:除限制区外,林地、草地、湿地向建设用地的转换概率减少 50%，耕地向建设用地的转换概率减少 30%，林地、草地、湿地向耕地的转换概率减少 20%，未利用地向林地和草地的转换概率增加 10%，耕地向林地的转换概率增加 20%。

1.2.6 数据来源

本文所需数据主要包括土地利用数据、自然本底数据和社会经济数据等。出于研究需要,根据中国多时期土地利用遥感监测数据集(CNLUCC)的分类系统,将研究区用地类型重新划分为耕地、林地、草地、湿地、水域、建设用地和未利用地 7 类。此

外,社会经济统计数据主要用来测度生态福祉、生态-经济产出效率和人均生态福祉等(表 1)。

2 结果与分析

2.1 江西省生态福祉时空演变

2.1.1 时间变化

江西省生态福祉呈现先大幅上升后小幅下降的趋势,从 2000 年的 1 970.45 亿元,到 2010 年的 3 825.24 亿元,再到 2020 年的 3 714.77 亿元。近 10 年城镇化与工业化的快速推进,使得城镇用地与工业用地需求大幅上升,具有高生态福祉的耕地和草地转变为低生态福祉的建设用地,进而导致生态福祉总量降低。在人口数量不断增长与生态福祉总量减少的双重影响下,人均生态福祉水平也呈现出相应的下降趋势,从 2010 年的 8 572.46 万元/人,到 2020 年的 8 220.60 万元/人。20 年间生态-经济产出效率稳定增长,随着社会经济的持续发展和城镇化水平的逐步提升,国民生产活动中生态福祉的消耗得以更有效地转化为经济收益,从 2000 年的 1.02 到 2020 年的 4.39,增幅高达 330.39%。

2.1.2 空间变化

将江西省 11 个评价单元划分为赣北、赣中和赣南三大区域。其中,赣北包括南昌、九江、景德镇、上饶、鹰潭、宜春、新余和萍乡,赣中包括吉安和抚州,赣南包括赣州。

整体上,生态福祉呈现“南高北低”的空间分布格局(图 2)。

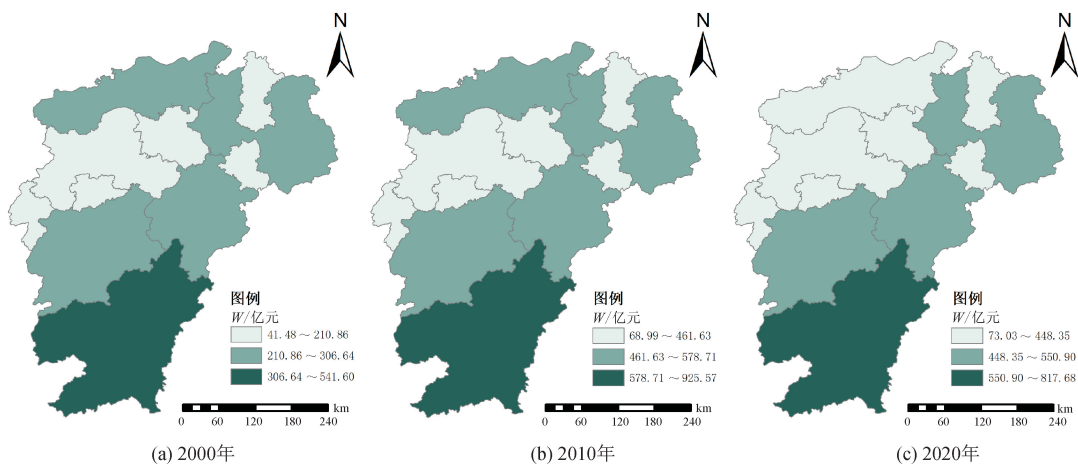


图 2 江西省生态福祉空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of ecological well-beings in Jiangxi Province

注:此图基于国家自然资源部标准地图服务网站审图号为 GS(2024)0650 的标准地图制作,底图无修改。

研究时段内赣州生态福祉的价值量始终为最高值,最低值则出现在新余或鹰潭。变化趋势上,除景德镇、鹰潭一直处于持续增加的趋势外,其余 9 市均呈现“先上升-再下降”的变化态势。变化幅度上,20 年间,各市均有明显增幅,景德镇、抚州和上饶增幅超过

100%;除鹰潭和赣州外,其余各市增幅均超过 80%。

人均生态福祉方面,总体空间分布格局为“南高北低,中部最高”(图 3)。赣中的吉安和抚州,自 2010 年以来一直保持在 12 000 万元/人以上;最低值为赣北的南昌,三时点人均生态福祉始终低于

4 000万元/人。2010年,除南昌外,各市人均生态福祉均超过6 000万元/人,最高值为抚州,达13 323.38万元/人。变化趋势上,除景德镇、鹰潭和

吉安外,其余各市人均生态福祉自2010年后均呈下降趋势。其中,南昌降幅最大,达23.17%,赣州降幅17.45%,其余各市降幅均在15%以内。

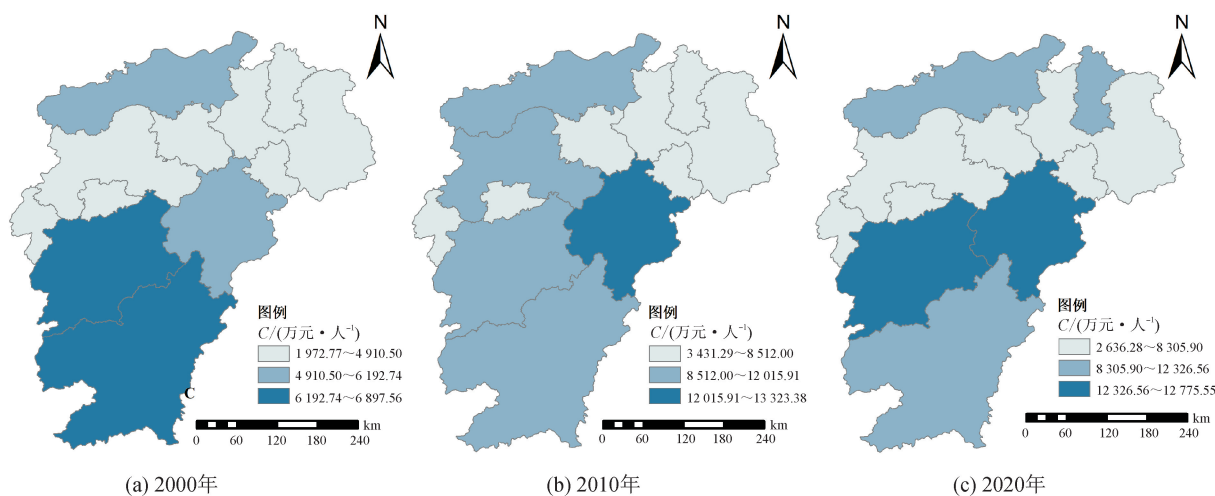


图3 江西省人均生态福祉空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of per capita ecological well-beings in Jiangxi Province

注:此图基于国家自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2024)0650的标准地图制作,底图无修改。

生态-经济产出效率方面,赣北地区相对高于赣中和赣南地区。研究时段内,江西省呈现“北高南低”的空间特征,且随时间推移,各评价单元均呈稳定上升的态势。其中,增幅最大的为南昌,一直保持较高且稳定的增长态势,其生态-经济产出效率自2000年的5.08增长至2020年的22.02,增幅高达333.46%;同时,20年间除景德镇、萍乡和新余外,其余8个评价单元的增幅均高于100%。

2.2 2030年江西省多情景土地利用模拟预测

2.2.1 精度验证

本研究基于PLUS模型,以江西省2000年、2010年和2020年的土地利用数据为基础,选取11个驱动要素,根据2000—2010年的土地利用扩张情况,模拟2020年土地利用分布格局,并将模拟结果与真实土地利用情况进行比较,计算得到Kappa系数为0.814, FoM值为0.218。模拟结果良好,具有较高精度,表明本研究的驱动因子和参数设置合理,可适用于研究区2030年的多情景土地利用模拟(图4)。

2.2.2 各情景下土地利用类型变化

2030年4种情景下,江西省土地利用除耕地外,呈现以林地、湿地和未利用地缩减,草地、水域和建设用地扩张的变化特征(图5)。

耕地在FP情景下扩张,增加了893.14 km² (0.53%),在其他情景下减少,最多减少了851.87 km² (0.51%) (ED情景)。4种情景下林地均有一定程度的减少,FP情景下减少最多,减少了1 795.55 km² (占比1.08%),EP情景下减少最少,

减少了233.76 km² (0.14%)。草地在各情景下均有所增加,在BH、FP、ED和EP情景下分别增加了297.70 km² (0.18%)、227.29 km² (0.14%)、275.42 km² (0.16%)和375.21 km² (0.22%)。水域在各情景下均有所增加,且增长面积和增幅基本一致。建设用地在各情景下均有不同程度的增加,但增幅有明显差别,BH和ED情景下分别增加了1 317.62 km² (0.79%)、1 687.06 km² (1.01%),FP和EP情景下分别增加了652.79 km² (0.39%)、638.24 km² (0.38%)。此外,湿地和未利用地各情景下均有所减少,且减少面积和降幅基本一致。

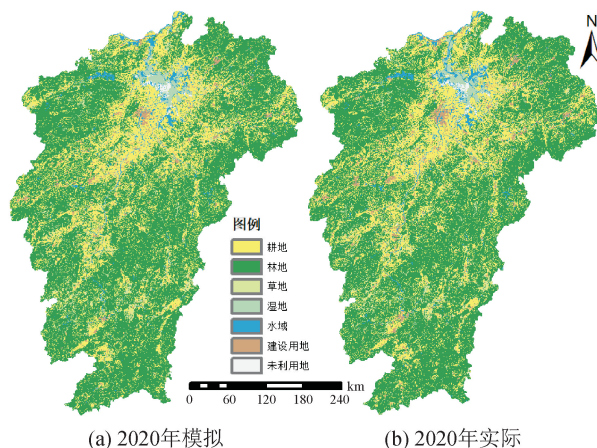


图4 2020年江西省土地利用结构模拟对比

Fig. 4 Comparison of land use structure simulations in Jiangxi Province in 2020

注:此图基于国家自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2024)0650的标准地图制作,底图无修改。

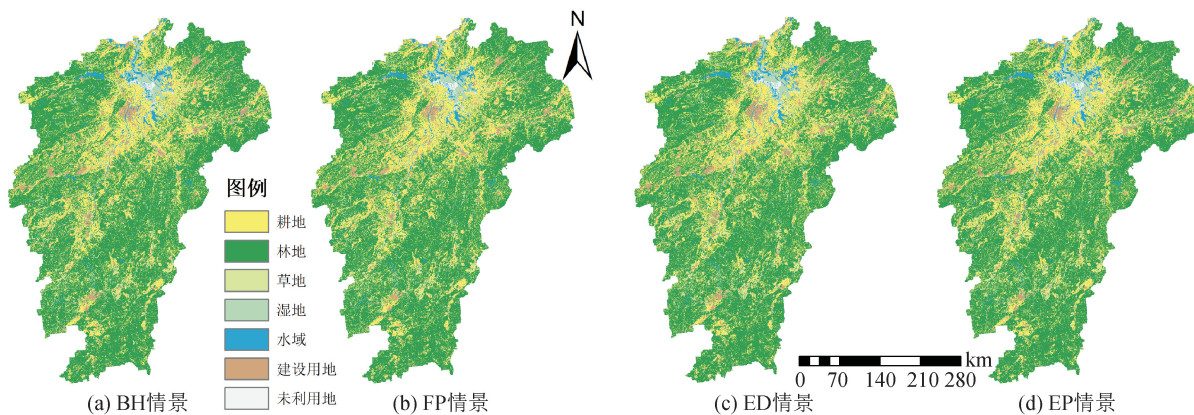


图 5 2030 年多情景下江西省土地利用类型

Fig. 5 Land use types in Jiangxi Province at multiple scenarios in 2030

注:此图基于国家自然资源部标准地图服务网站审图号为 GS(2024)0650 的标准地图制作,底图无修改。

2.3 2030 年江西省多情景生态福祉响应

2.3.1 各情景下生态福祉响应

本文采用 DGM(1, 1)模型对各评价单元 2030 年的平均粮食产量进行预测,基于预测结果计算得

到江西省 2030 年多情景生态福祉(图 6)。总体上,赣南的赣州、赣中的吉安和抚州、赣北的九江和上饶,生态福祉均超过 400 亿元,而赣北的新余和鹰潭不足 100 亿元。

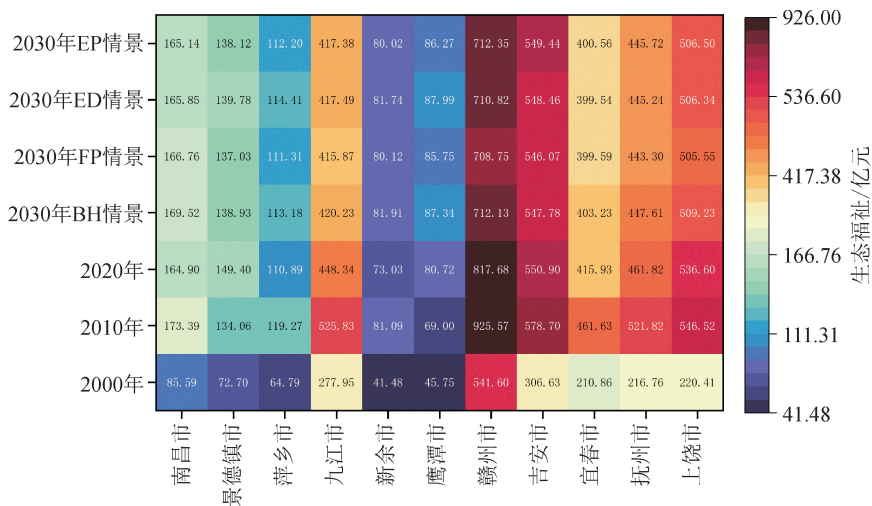


图 6 2000—2030 年江西省各评价单元生态福祉

Fig. 6 Ecological well-beings of each evaluation unit in Jiangxi Province from 2000 to 2030

1) BH 情景。该情景下,2030 年江西省生态福祉总量为 3 380.71 亿元,与 2020 年相比,总量减少了 334.06 亿元,降幅达 8.99%。空间分布上,最大值和最小值与 2000—2020 年一致,最大值为赣州 712.13 亿元、最小值为新余 81.91 亿元,分别占总量的 21.06% 和 2.42%。南昌生态福祉总量 169.52 亿元,在 4 种情景中增幅最大,为 2.80%,其余情景中增幅均小于 1.20%。

2) FP 情景。该情景是 4 种情景中生态福祉总量最少且降幅最大的情景(相比 2020 年)。2030 年江西省生态福祉总量为 3 371.86 亿元,减少了 342.92 亿元,降幅达 9.23%。与其他情景相比,大部分城市的增幅或降幅变化不大。其中,萍乡生态

福祉仅增长 0.42 亿元,增幅 0.38%,是该情景中增幅最小的城市。九江和上饶生态福祉相较于其他情景降幅较大,分别为 7.24% 和 5.79%。

3) ED 情景。该情景下,2030 年江西省生态福祉总量为 3 374.70 亿元,其减量和降幅与 FP 情景最为接近,分别为 340.08 亿元和 9.15%。空间分布上,景德镇的生态福祉在四种情景中减量最多、降幅最小,分别为 9.62 亿元和 6.44%;萍乡和鹰潭的生态福祉在四种情景中增幅最大,分别为 3.17% 和 9.01%。

4) EP 情景。该情景下,2030 年江西省生态福祉总量为 3 400.16 亿元,为 4 种情景中生态福祉总量最多、降幅最小的情景,其减量和降幅分别为 314.61 亿元和 8.47%。其中,南昌生态福祉总量

165.14 亿元,在所有评价单元的 4 种情景中增量最少,仅为 0.24 亿元。九江和上饶的生态福祉减量与 ED 情景相近,差值均在 0.20 亿元以内。

2.3.2 各情景下人均生态福祉和生态-经济产出效率响应

1) 人均生态福祉。《江西省人口发展规划(2016—2030 年)》提出优化人口结构和空间布局,

到 2030 年基本形成人口自身均衡发展的态势,进一步提高人口与经济社会、资源环境的协调程度,力争全省人口总量达到 5 000 万人。本文以 3 期评价单元人口比的均值来计算评价单元 2030 年人口,并结合 2030 年多情景下生态福祉计算人均生态福祉(图 7)。

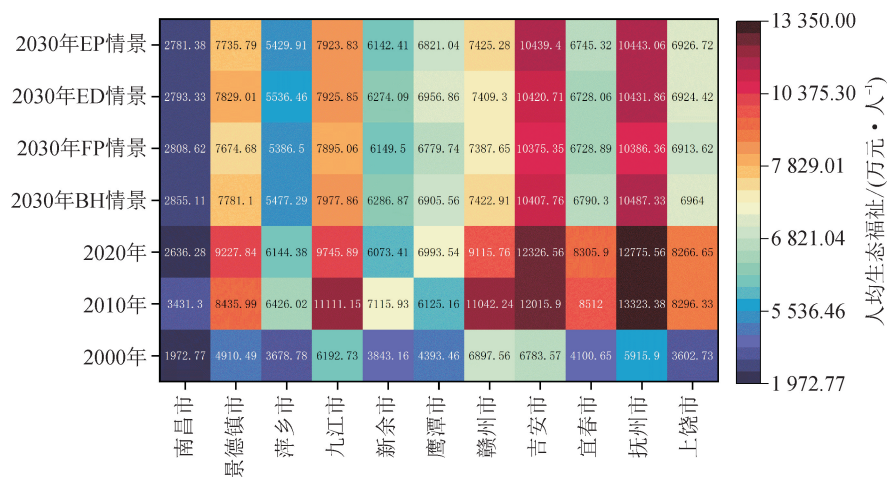


图 7 2000—2030 年江西省各评价单元人均生态福祉

Fig. 7 Per capita ecological well-beings of each evaluation unit in Jiangxi Province from 2000 to 2030

2030 年各情景下江西省人均生态福祉均有明显减少,且降幅大致相同。FP 情景下减量最多,为 1 476.88 万/人(降幅 17.97%),EP 情景下减量最少,为 1 420.27 万/人(17.28%);BH 情景下减少 1 459.17 万/人(17.75%),ED 情景下减少 1 471.20 万/人(17.90%)。从空间上看,仅有赣北的南昌和新余有所增加,但各情景下两评价单元的增幅均低于 10%,特别是新余在 FP 情景和 EP 情景下增幅较小,分别为 1.25% 和 1.14%。其他评价单元均有

所减少,但降幅有所不同,其中鹰潭降幅最小,各情景下降幅均小于 3.00%,其余 8 个评价单元的降幅均在 10%~20%之间。

2) 生态-经济产出效率。《纲要》的经济社会发展目标指出,实现经济综合实力的新跨越,在质量效益明显提升的基础上,经济持续平稳健康发展,地区生产总值年均增长 7% 左右。本研究以 2020 年江西省 GDP 为基期获得 2030 年江西省 GDP,并结合多情景下生态福祉计算生态-经济产出效率(图 8)。

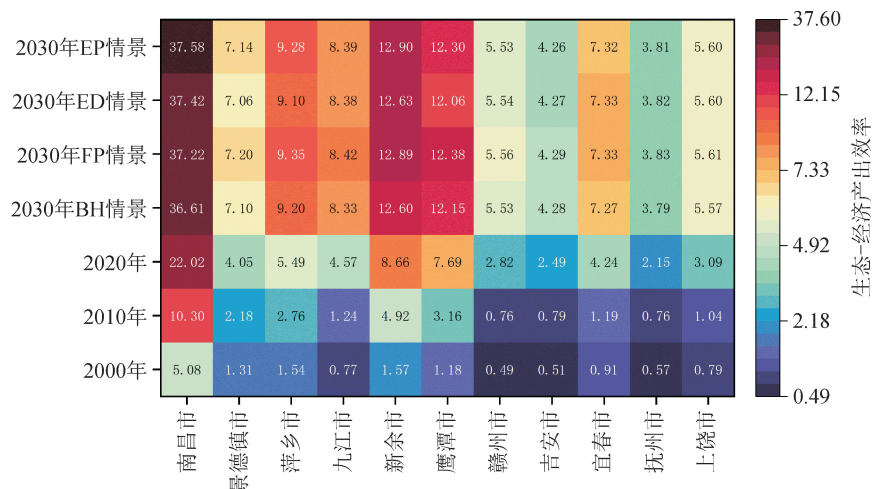


图 8 2000—2030 年江西省各评价单元生态-经济产出效率

Fig. 8 Eco-economic output efficiency of each evaluation unit in Jiangxi Province from 2000 to 2030

2030年江西省和各评价单元的生态-经济产出效率在各情景下均呈现增加态势,表明消耗单位生态福祉转化为经济效益的能力逐步提升。BH情景下增加3.48(增幅79.25%)、FP情景下增量最多,为3.50(79.72%),ED情景下增加3.49(79.57%),EP情景下增量最少,为3.43(78.23%)。其中,最大值为南昌,同时也是研究区内2030年增量最多的评价单元,各情景下增量均高于36.61。此外,新余和鹰潭2030年均高于12.06,其余评价单元均处于3.79~9.35之间。

3 结论和讨论

3.1 结论

本文以江西省及11个地级市为研究区,基于生态系统服务理论,采用生态系统贡献率模型测度了2000年、2010年和2020年生态福祉、人均生态福祉和生态-经济产出效率等指标,并分析了各指标的时空演变特征,然后利用PLUS模型预测了江西省2030年土地利用布局,模拟并探讨了基准顺势、耕地保护、经济发展和生态优先4种情景下生态福祉等指标及其空间分异情况。

1) 2000—2020年,江西省生态福祉呈先大幅上升后小幅下降的态势,较2000年整体有所增加,2020年生态福祉总量3714.77亿元,增幅88.52%;而江西省人均生态福祉有所减少,2020年为8220.60万元/人,降幅4.10%;空间分布上,二者分别呈现“南高北低”和“南高北低,中部最高”的空间分布格局。生态-经济产出效率20年间呈现稳定增长态势,增幅高达330.39%,其空间分布特征不同于前两者,呈现“北高南低”的空间分布格局。

2) 2030年4种情景下,江西省土地利用除耕地外,呈现以林地、湿地和未利用地缩减,草地、水域和建设用地扩张的变化特征。耕地在FP情景下扩张,其余情景均缩减。在扩张的土地类型中,相比于草地和建设用地,水域的扩张面积和增幅在各情景中基本一致。湿地和未利用地各情景下的缩减面积和降幅基本一致。

3) 2030年4种情景下,江西省生态福祉总量有着不同程度的变化,EP情景下生态福祉总量最多,FP情景下生态福祉总量最少。人均生态福祉各有差异,南昌和新余有所增加,其余大部分评价单元的降幅均在10%~20%之间。生态-经济产出效率在4种情景下均呈现增加态势,其中最大值为南昌,除新余和鹰潭,其余评价单元均处于3.79~9.35之间,说明区域发展中的生态转化效率逐步提高。

4) 绿色生态是江西最大的优势,作为兼具国家生态文明试验区和国家生态产品价值实现机制试点的省份,在未来高质量发展中,应协调好生态环境保护和社会经济发展的关系,合理利用土地资源,注重科学均衡发展,以相对少的生态土地为代价实现高质量发展,从而整体实现EP情景的土地利用发展模式。结合生态福祉及生态-经济产出效率参数,赣州和吉安可参考EP情景,突出生态特色,其他单元则以FP情景为基本导向并兼顾EP情景。

3.2 讨论

区域土地利用状态与生态福祉之间存在着紧密联系,基于土地利用空间格局变化定量测度生态福祉,并开展未来多情景预测,可为研究区生态环境保护提供参考。本研究引入了生态系统贡献率模型,与既有研究相比,设置了基准顺势、耕地保护、经济发展和生态优先4种情景,并开展了未来多情景模拟。研究发现,基于政策导向进行多情景模拟预测,可以精准表达未来生态福祉的供给状况,通过多情景生态福祉及生态-经济产出效率参数测度,能为决策者提供更加精准的区域发展模式。PLUS模型耦合了用地扩张分析策略(LEAS)和基于多类随机斑块种子的CA模型(CARS),并集成马尔科夫链进行土地利用优化。相比其他模型,PLUS可以动态模拟任意多类土地斑块的生成和演化,挖掘土地利用变化的机理,该模型为探讨生态福祉提供了可行的方法。本研究借助PLUS模型和离散灰色模型的优势,根据2000年、2010年和2020年历史土地利用数据及社会经济数据,对江西省2030年4种情景下的生态福祉等一系列指标进行了测度,并探讨了其空间格局特征,为后续研究区生态福祉预测提供了参考。

江西省在落实“一带一路”倡议和长江经济带等国家战略,全面对接长三角、粤港澳大湾区的同时,应立足于全省视角,进一步协调好区域社会经济发展和生态保护的关系,开展高标准农田建设和土地整治;严格控制建设用地的无序扩张,坚持节约集约利用建设用地;保持森林等生态系统的稳定,进一步增加生态用地规模。通过大力推进产业生态化与生态产业化进程,力求在经济快速发展的同时,进一步提高居民生态福祉。

囿于数据所限,本研究在进行土地利用预测时,对社会经济驱动因子的选取不够充分;同时,未探究指标之间在空间上的权衡与协同关系。今后,在测度生态福祉时,可以从环境和资源福祉两方面来探究其时空演化情况;利用空间自相关方法探究各指

标之间的权衡协同关系。旨在为研究区域未来的国土空间规划编制及生态安全维护提供更加精确且科学的决策支持。

参考文献:

- [1] Daily G C. Nature's services: societal dependence on natural ecosystem[M]. Washington DC: Island Press, 1997.
- [2] Costanza R, D' Arge R, Groot R D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [3] 臧正, 邹欣庆. 基于生态系统服务理论的生态福祉内涵表征与评价[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(4): 1085-1094.
Zang Zheng, Zou Xinqing. Connotation characterization and evaluation of ecological well-being based on ecosystem service theory[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(4): 1085-1094.
- [4] 付永虎, 解文艳, 刘俊青, 等. 基于 GeoSOS-FLUS 模型的江苏省生态福祉时空演变及其预测研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2023, 32(1): 71-82.
Fu Yonghu, Xie Wenyan, Liu Junqing, et al. Spatio-temporal pattern evolution and prediction of ecological well-being in Jiangsu Province based on GeoSOS-FLUS model[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2023, 32(1): 71-82.
- [5] Aziz T. Changes in land use and ecosystem services values in Pakistan, 1950-2050[J]. *Environmental Development*, 2021, 37: 100576.
- [6] 程建, 程久苗, 吴九兴, 等. 2000~2010 年长江流域土地利用变化与生态系统服务功能变化[J]. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(6): 894-901.
Cheng Jian, Cheng Jiumiao, Wu Jiuxing, et al. Changes of land use and ecosystem service functions in Yangtze River Basin from 2000 to 2010[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2017, 26(6): 894-901.
- [7] Zhang X, Zhu W, Yan N, et al. Research on service value and adaptability zoning of grassland ecosystem in ethiopia[J]. *Remote Sensing*. 2022, 14(11): 2722.
- [8] 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.
Xie Gaodi, Zhang Caixia, Zhang Changshun, et al. The value of ecosystem services in China[J]. *Resources Science*, 2015, 37(9): 1740-1746.
- [9] Ai M, Chen X, Yu Q. Spatial correlation analysis between human disturbance intensity (HDI) and ecosystem services value (ESV) in the Chengdu-Chongqing urban agglomeration[J]. *Ecological Indicators*, 2024, 158: 111555.
- [10] 魏俐宏, 刘健, 郑昭佩, 等. 山东省土地利用与生态系统服务价值时空变化研究[J]. *西安理工大学学报*, 2025, 41(1): 34-44.
Wei Lihong, Liu Jian, Zheng Zhaopei, et al. Spatio-temporal change of land use and ecosystem service value in Shandong Province[J]. *Journal of Xi'an University of Technology*, 2025, 41(1): 34-44.
- [11] 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 Jiagen, Huang Lu, Yan Lijiao. 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.
- [12] 董孝斌, 刘梦雪. 土地利用/覆盖变化-生态系统服务-人类福祉关系研究进展[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2022, 58(3): 465-475.
Dong Xiaobin, Liu Mengxue. Relationships among LUCC, ecosystem services and human well-being[J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2022, 58(3): 465-475.
- [13] Huang Z, Chen Y, Zheng Z, et al. Spatiotemporal coupling analysis between human footprint and ecosystem service value in the highly urbanized Pearl River Delta urban agglomeration, China[J]. *Ecological Indicators*, 2023, 148: 110033.
- [14] Feng Y J, Zhong S Y, Li Q Y, et al. Ecological well-being performance growth in China (1994-2014): from perspectives of industrial structure green adjustment and green total factor productivity [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 236: 117556.
- [15] 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 Defeng, Wang Yanyan, Cao Yongqiang, 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.
- [16] 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 Defeng, Wang Yanyan, Liu Xiaoxing, 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.
- [17] 付永虎, 解文艳, 魏范青, 等. 基于改进生态系统贡献

- 率模型的长三角地区生态福祉分类与时空分异特征研究[J]. 地域研究与开发, 2023, 42(5): 140-146.
- Fu Yonghu, Xie Wenyan, Wei Fanqing, et al. Spatio-temporal pattern evolution of ecological well-being in the Yangtze River Delta based on revised ecosystem contribution rate model[J]. Areal Research and Development, 2023, 42(5): 140-146.
- [18] 郑德凤, 臧正, 孙才志. 改进的生态系统服务价值模型及其在生态经济评价中的应用[J]. 资源科学, 2014, 36(3): 584-593.
- Zheng Defeng, Zang Zheng, Sun Caizhi. An improved ecosystem service value model and application in ecological economic evaluation [J]. Resources Science, 2014, 36(3): 584-593.
- [19] 谢乃明, 刘思峰. 离散 GM(1,1)模型与灰色预测模型建模机理[J]. 系统工程理论与实践, 2005, 25(1): 93-99.
- Xie Naiming, Liu Sifeng. Discrete GM(1,1) and mechanism of grey forecasting model[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2005, 25(1): 93-99.
- [20] 杨朔, 苏昊, 赵国平. 基于 PLUS 模型的城市生态系统服务价值多情景模拟——以汉中市为例[J]. 干旱区资源与环境, 2022, 36(10): 86-95.
- Yang Shuo, Su Hao, Zhao Guoping. Multi-scenario simulation of urban ecosystem service value based on PLUS model: a case study of Hanzhong City[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2022, 36(10): 86-95.
- [21] 杨顺法, 咎梅, 袁瑞联, 等. 基于 PLUS 与 InVEST 模型的新疆碳储量变化及预测[J]. 环境科学, 2025, 46(1): 378-387.
- Yang Shunfa, Zan Mei, Yuan Ruilian, et al. Carbon stock changes and forecasting in Xinjiang based on PLUS and InVEST model approach[J]. Environmental Science, 2025, 46(1): 378-387.
- [22] 肖建英, 戴津津, 方昕然, 等. 基于 PLUS 模型的徐州市生态系统服务价值多情景模拟研究[J]. 中国土地科学, 2024, 38(4): 125-134.
- Xiao Jianying, Dai Jinjin, Fang Xinran. Multiple scenario simulation of ecosystem service value in Xuzhou City based on PLUS model[J]. China Land Science, 2024, 38(4): 125-134.
- [23] Liu X, Liang X, Li X, et al. A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects[J]. Landscape and Urban Planning, 2017, 168: 94-116.
- [24] 陈理庭, 蔡海生, 张婷, 等. 基于 Markov-FLUS 模型的饶河流域土地利用多情景模拟分析[J]. 生态学报, 2022, 42(10): 3947-3958.
- Chen Liting, Cai Haisheng, Zhang Ting, et al. Land use multi-scenario simulation analysis of Rao River Basin based on Markov-FLUS model[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(10): 3947-3958.
- [25] 陈绮桐, 林锦耀. 多情景下珠江三角洲地区土地利用变化对生态系统服务的影响预测[J]. 生态与农村环境学报, 2024, 40(5): 612-621.
- Chen Qitong, Lin Jinyao. Prediction of the impact of land use change on ecosystem service in the Pearl River Delta under different scenarios[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2024, 40(5): 612-621.

(责任编辑 周 蓓)