

基于PSR模型的长江中游城市群土地生态安全评价及时空演化分析

简文浩, 夏可卿

江西师范大学城市建设学院, 江西 南昌

收稿日期: 2025年12月23日; 录用日期: 2026年2月5日; 发布日期: 2026年2月11日

摘 要

土地生态安全评价是对区域土地生态系统可持续性判断的重要方法, 长江中游城市群土地生态保护与高质量发展对我国生态系统安全、经济发展和社会稳定具有重要意义。本研究使用2013~2022年长江中游城市群28个地级市的数据, 基于PSR模型构建了长江中游城市群土地生态安全评价指标体系, 使用熵权法对土地生态安全指数进行测算, 并分析其时空变化特征。研究结果表明: (1) 从时间变化来看, 2013~2022年长江中游城市群土地生态安全指数呈波动上升态势, 三大子城市群呈现显著区域梯度特征, 其中环鄱阳湖城市群始终处于领先地位。(2) 空间变化上, 研究区域南部土地生态安全等级长期保持相对较高水平, 中部城市整体提升较大, 北部城市土地生态安全相对薄弱。研究结论: 长江中游城市群土地生态安全水平整体不断提高, 但空间分布存在不均, 应更加注重协调发展。

关键词

土地生态安全, 长江中游城市群, PSR模型

Land Ecological Security Evaluation and Spatio-Temporal Evolution Analysis of the Urban Agglomeration in the Middle Reaches of the Yangtze River Based on the PSR Model

Wenhao Jian, Keqing Xia

College of City Construction, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi

Received: December 23, 2025; accepted: February 5, 2026; published: February 11, 2026

文章引用: 简文浩, 夏可卿. 基于PSR模型的长江中游城市群土地生态安全评价及时空演化分析[J]. 世界生态学, 2026, 15(1): 109-117. DOI: 10.12677/ije.2026.151012

Abstract

Land ecological security assessment is an important method for judging the sustainability of regional land ecosystems. The land ecological protection and high-quality development of the urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River are of great significance to China's ecosystem security, economic development and social stability. This study utilized the data of 28 prefecture-level cities in the Central Yangtze River Urban Agglomeration from 2013 to 2022. Based on the PSR model, an evaluation index system for land ecological security in the Central Yangtze River urban agglomeration was constructed. The entropy weight method was used to calculate the land ecological security index, and its spatio-temporal variation characteristics were analyzed. The research results show that: (1) In terms of time changes, the land ecological security index of the urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River has shown a fluctuating upward trend from 2013 to 2022. The three sub-urban agglomerations present significant regional gradient characteristics, among which the urban agglomeration around Poyang Lake has always been in a leading position. (2) In terms of spatial changes, the ecological security level of the land in the southern part of the study area has remained relatively high for a long time, the overall improvement in the central cities has been significant, while the ecological security of the land in the northern cities is relatively weak. Research conclusion: The overall level of land ecological security in the urban agglomeration of the middle reaches of the Yangtze River has been continuously improving, but the spatial distribution is uneven. Therefore, more emphasis is placed on coordinated development.

Keywords

Land Ecological Security, Urban Agglomeration in the Middle Reaches of the Yangtze River, PSR Model

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

作为农业生产的基础要素,土地不仅承载着粮食供给的物理功能,更深度嵌入生态平衡维护、文化传承与社会稳定等多元价值维度。改革开放 40 年以来,我国经济经历了一段快速增长的时期。但是在发展的过程中,由于忽视生态环境等原因,我国土地生态系统受到了不同程度的破坏。水土流失、土壤污染等问题长期对我国土地生态系统造成威胁,对社会生态系统持续发展产生不利影响。一般来说,土地生态安全是指土地生态系统自身的安全状况,主要包含以下两个方面的内容:一方面是由要素、结构与功能构成的土地生态系统自身的健康性,另一方面是土地生态系统所面对的外界环境产生的不确定风险性,土地生态安全即是有这两个方面所共同作用而体现出来的一种状态[1]。

目前学术界对于土地生态安全的研究主要集中于区域土地生态安全评价[2]、风险预测[3]与障碍因素分析[4]。在评价框架层面,以联合国经济合作开发署提出的 PSR (压力-状态-响应)模型应用最为广泛,在此基础上,衍生出 DPSIR (驱动力-压力-状态-影响-响应)、DPSER (驱动力-压力-状态-暴露-响应)等拓展框架[5]-[7]。在具体评价方法上,早期研究多采用熵权法、层次分析法等单一数学模型进行权重确定与综合评分,其中熵权法因客观性强,常与 TOPSIS 法结合形成熵权-TOPSIS 复合模型,成为当前量化评价的主流技术组合[8]-[10]。以上研究成果为土地生态安全问题的进一步研究奠定了坚实基础。

长江中游城市群是长江经济带的重要组成部分, 也是我国重要的经济与粮食生产区域。随着区域一体化进程加快, 长江中游城市群土地利用呈现明显动态变化, 城乡建设用地持续增加, 耕地和生态用地呈波动减少趋势, 建设用地扩张以斑块式蔓延为主要特征, 这种变化态势对区域土地生态系统稳定性构成潜在影响。城镇化与工业化进程中的土地开发活动也加剧了人地关系与生态保护的矛盾, 凸显了开展土地生态安全评价的必要性与紧迫性。

基于此, 本研究 PSR 模型的基础上构建土地生态安全评价指标体系, 测算 2012—2022 年长江中游城市群土地生态安全水平, 以期为保障区域土地生态系统可持续发展提供科学参考。

2. 区域概况与数据来源

2.1. 区域概况

长江中游城市群是以武汉城市圈、环长株潭城市群、环鄱阳湖城市群为主体形成的特大型国家级城市群, 地域上涵盖湖北、湖南、江西三省 31 个城市, 是长江经济带三大跨区域城市群支撑之一, 在国家区域发展格局中具有承东启西、连南接北的战略地位。自然地理方面, 长江中游城市群属于亚热带季风气候, 水热条件优越, 是我国重要农业生产区。区域内地形丰富, 水系发达, 不仅承担着调蓄洪水、涵养水源、维系生物多样性的核心生态功能, 也构建了区域生态安全的关键载体。

2.2. 数据来源

本文选取长江中游城市群共 28 个地级市作为研究对象, 考虑到行政等级因素以及数据获取难度, 在研究对象选择时剔除了仙桃市、天门市和潜江市三个县级市。本文统计数据主要来源于 2013 年至 2022 年的《中国城市统计年鉴》、各省、地级市统计年鉴和统计公报以及政府网站的公开数据等。

3. 研究方法

3.1. 评价指标体系构建

本研究在构建长江中游城市群土地生态安全评价指标体系时, 采用 PSR (Pressure-State-Response) 模型作为理论框架, 该模型是环境质量评价学科中常用的一种生态系统健康评价模型, 最早由 FAO 联合世界银行等部门提出, 广泛应用于土地生态安全评价[11]。该模型通过三个核心维度完整刻画了区域生态系统的运行机制: 压力、状态与响应。其中, 在压力层(Pressure): 指人类活动对生态环境产生的胁迫作用, 如土地开发、工业排污、资源开采等人类经济社会活动对生态系统的干扰。状态(State): 指生态环境在压力作用下所处的动态状况, 包括生态系统结构、功能及质量等核心属性, 如土地覆被类型、土壤质量、生物多样性等。响应(Response): 指社会经济系统针对生态环境状态变化采取的适应性措施, 包括政策调控、工程治理、管理优化等, 旨在缓解压力、改善生态状态。

为了确保评价结果的客观性与可比性, 参考现有研究成果[12][13], 本研究基于科学性、系统性与可操作性的原则从三个维度选取了共 10 个指标构建了长江中游城市群土地生态安全的评价指标体系。首先, 从压力维度出发, 选取了城镇化率、人口密度等反映区域土地利用强度的指标; 其次, 从状态维度选取了水土协调度、绿化覆盖度等反映土地利用格局与生态本底的指标; 最后, 从响应维度选取了第三产业占比、污水处理率等反映环境治理能力的指标, 具体指标体系见表 1。

3.2. 熵权法

熵权法是一种基于信息熵理论的客观赋权方法, 核心逻辑是通过分析评价指标的信息熵值, 量化指标对评价体系的贡献度并确定其权重, 可有效规避主观赋权法的人为偏差, 提升评价结果的客观性与

Table 1. Evaluation index system for land ecological security of the Yangtze river middle-reach urban agglomeration
表 1. 长江中游城市群土地生态安全评价指标体系

准则层	指标层	指标性质	权重
压力(P)	年均降水量	负	0.068533
	单位 GDP 能耗	负	0.0344968
	城镇化率	负	0.0456942
	人口密度	负	0.0902842
状态(S)	绿化覆盖度	正	0.052345
	水土协调度	正	0.192649
	人均粮食产量	正	0.133169
响应(R)	人均 GDP	正	0.2029
	第三产业占比	正	0.148192
	污水处理率	正	0.031738

科学性。具体计算过程如下:

1、无量纲化处理

采用极值法进行原始数据的无量纲处理。对于正向指标,即指标值越大对系统发展越有利时,采用式(1);对于负向指标,即指标值越小对系统发展越有利时,采用式(2);而对于适度指标需要首先使用式(3)将适度指标转化为逆向指标,进而通过式(2)进行归一化处理。

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min\{X_j\}}{\max\{X_j\} - \min\{X_j\}} + 0.0001 \quad (1)$$

$$X'_{ij} = \frac{\max\{X_j\} - X_{ij}}{\max\{X_j\} - \min\{X_j\}} + 0.0001 \quad (2)$$

$$X_{ij} = |A_{ij} - C| \quad (3)$$

2、计算指标比重

归一化可以得到某个样本观测值在某个指标子系统中的应用概率,便于利用信息熵公式测度该指标子系统的不确定性,具体处理方法如式(3)

$$Y'_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_{i=1}^m X'_{ij}} \quad (4)$$

3、计算相对信息熵

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m (Y_{ij} \times \ln Y_{ij}), k = \frac{1}{\ln m}, 0 \leq e_j \leq 1 \quad (5)$$

4、计算信息熵冗余度和权重

$$d_j = 1 - e_j \quad (6)$$

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (7)$$

5、计算综合得分

$$S_i = \sum w_j \times X'_{ij} \tag{8}$$

4. 结果与分析

4.1. 土地生态安全计算

根据 2013 年至 2022 年长江中游城市群 28 个地级市 10 项统计指标的统计数据构造评价数据集，采用熵权法对各指标进行赋权，最终通过计算得出 2013 年至 2022 年长江中游城市群 28 个地级市土地生态安全指数(表 2)。

Table 2. Land ecological security index of the Yangtze river middle-route urban agglomeration from 2013 to 2022

表 2. 2013~2022 年长江中游城市群土地生态安全指数表

序号	地级市	2013	2016	2019	2022
1	武汉市	0.3773	0.4172	0.4875	0.4907
2	黄石市	0.2591	0.3278	0.3653	0.4092
3	宜昌市	0.4008	0.4702	0.5245	0.5983
4	襄阳市	0.3698	0.4284	0.5036	0.5473
5	鄂州市	0.2677	0.3187	0.4223	0.4448
6	荆门市	0.3839	0.4339	0.5070	0.5582
7	孝感市	0.2176	0.2526	0.3299	0.3588
8	荆州市	0.2674	0.3198	0.4079	0.4331
9	黄冈市	0.2417	0.3160	0.3509	0.3821
10	咸宁市	0.3204	0.3897	0.4401	0.4734
11	长沙市	0.4446	0.4939	0.5811	0.5594
12	株洲市	0.3750	0.4455	0.5310	0.5228
13	湘潭市	0.3302	0.3899	0.4333	0.4491
14	衡阳市	0.2721	0.3233	0.4170	0.4469
15	岳阳市	0.3460	0.3839	0.4274	0.4738
16	常德市	0.3946	0.4487	0.4906	0.5108
17	益阳市	0.3414	0.3916	0.4195	0.4153
18	娄底市	0.2736	0.3412	0.4302	0.4162
19	南昌市	0.3697	0.3911	0.4527	0.4744
20	景德镇	0.3706	0.4196	0.4745	0.5098
21	萍乡市	0.3405	0.4021	0.5157	0.5058
22	九江市	0.3599	0.4292	0.4544	0.4993
23	新余市	0.4212	0.4638	0.5147	0.5410
24	鹰潭市	0.3784	0.4116	0.4977	0.5087
25	吉安市	0.4274	0.4718	0.5636	0.5295

续表

26	宜春市	0.3623	0.4056	0.4972	0.5052
27	抚州市	0.4073	0.4585	0.5586	0.5267
28	上饶市	0.3551	0.3893	0.4721	0.4832

参考国内学者[14]对土地生态安全等级划分的已有研究，结合研究区域实际情况和数据特征，采用非等间距法将土地生态安全划分为 6 个等级(表 3)。

Table 3. Land ecological security evaluation criteria

表 3. 土地生态安全评价标准

安全性	贴近度
不安全	(0, 0.2]
较不安全	(0.2, 0.3]
临界安全	(0.3, 0.4]
基本安全	(0.4, 0.5]
比较安全	(0.5, 0.8]
安全	(0.8, 1]

4.2. 长江中游城市群土地生态安全时间变换特征

长江中游城市群土地生态安全指数从 2013 年的 0.3583 增长至 2022 年的 0.5027，整体呈现上升趋势，如图 1。具体来看，2013~2017 年期间，指数连续增长，至 2017 年达到 0.4895，期间最大增幅出现在 2016~2017

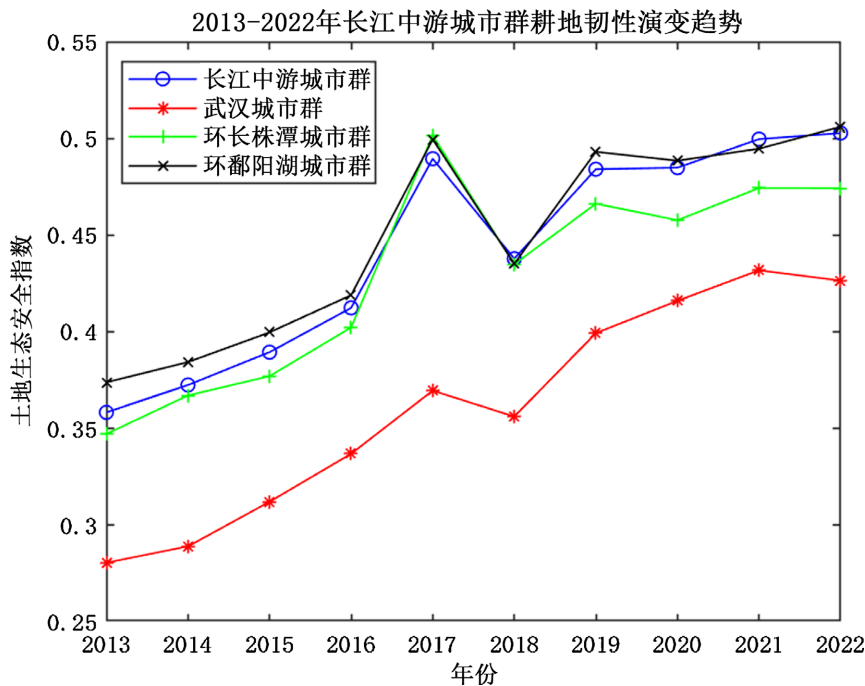


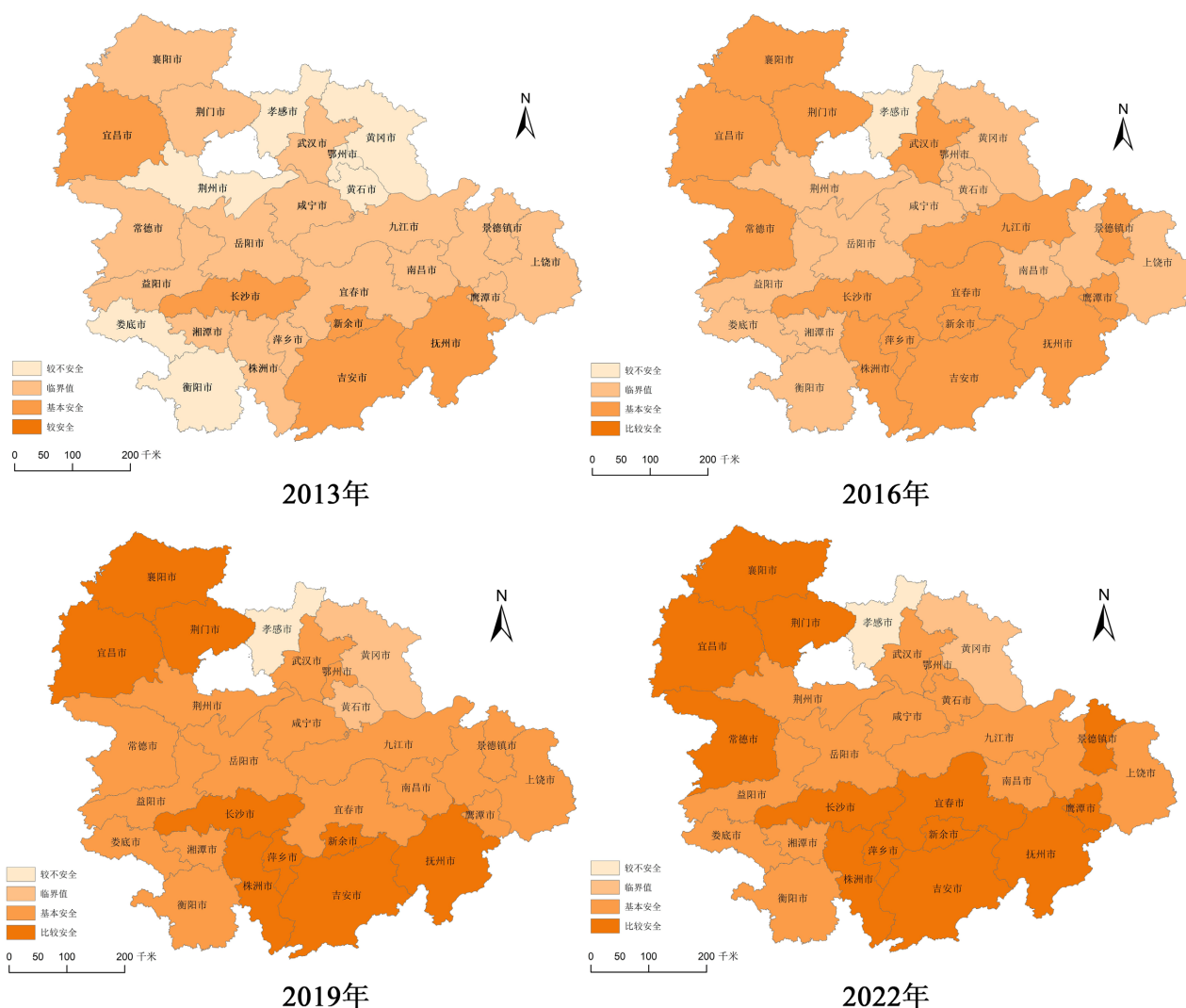
Figure 1. Temporal changes in land ecological security of the Yangtze river middle-route urban agglomeration and the three sub-agglomerations from 2013 to 2022

图 1. 2013~2022 年长江中游城市群及三大子城市群土地生态安全时序变化特征

年, 增幅达 18.69%。2017~2018 年出现小幅下降, 降幅约为 10.56%。武汉城市群土地生态安全指数从 2013 年的 0.2806 增长至 2022 年的 0.4264。2013~2017 年期间, 指数逐步上升, 其中 2015~2016 年增幅约为 7.95%。2017~2018 年出现小幅回调, 降幅约为 3.63%。环长株潭城市群土地生态安全指数从 2013 年的 0.3472 增长至 2022 年的 0.4742。2013~2017 年期间, 指数持续上升, 其中 2016~2017 年增幅显著, 约为 24.67%。2017~2018 年出现下降, 降幅约为 13.27%。环鄱阳湖城市群土地生态安全指数从 2013 年的 0.3738 增长至 2022 年的 0.50602。2013~2017 年期间, 指数稳步上升, 其中 2016~2017 年增幅约为 19.22%。2017~2018 年出现小幅下降, 降幅约为 12.87%, 随后持续回升, 至 2022 年达到最高值, 表明环鄱阳湖城市群在生态保护方面取得了长期成效。

4.3. 长江中游城市群土地生态安全空间分布特征

长江中游城市群 2013~2022 年土地生态安全等级分布图见图 2。2013 年长江中游城市群 28 个地级市



注: 该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2021)5447 的标准地图制作, 底图无修改。

Figure 2. Spatial distribution of land ecological security levels in the middle reaches of the Yangtze river urban agglomeration from 2013 to 2022

图 2. 2013~2022 年长江中游城市群土地生态安全等级空间分布

当中, 北部的孝感、黄冈、鄂州等 5 个城市土地生态安全等级为较不安全, 西南部有娄底、衡阳 2 个城市安全等级为较不安全, 南部、中部和西部共有长沙、吉安等五个城市为基本安全水平, 其余城市均为临界安全等级, 表明土地生态安全水平有所好转; 2016 年仅有孝感市土地生态安全等级处于较不安全水平, 其余城市均在临界安全等级以上, 其中北部、南部城市中黄冈、娄底等 6 个城市由较不安全转变为临界安全, 中部、北部、南部武汉、株洲、宜春、萍乡等 11 个城市由临界安全转变为基本安全; 2019 年部分城市土地生态安全等级进入比较安全水平, 北部和中部共有吉安、长沙、宜昌等 9 个城市土地生态安全等级进入比较安全水平, 其他中部、东部与西部城市除黄冈、黄石以及孝感外均由临界安全水平上升到基本安全水平, 区域整体土地生态安全等级较上一期有较大程度提高; 2022 年中部城市当中常德、宜春、鹰潭、景德镇 4 个城市土地生态安全水平由基本安全转为比较安全, 北部城市当中孝感市和黄冈市分别处于较不安全水平和临界安全水平, 其余城市均处于基本安全水平及以上, 区域土地生态安全水平整体仍然保持上升趋势。

5. 讨论

长江中游城市群土地生态安全在时间与空间上的变化, 是政策引导、自然条件及城镇化进程等多重因素共同作用的结果。从时间维度看, 2013 年至 2022 年间, 区域土地生态安全指数整体呈波动上升态势, 这主要得益于“十二五”规划及“十三五”规划期间, 国家对生态文明建设的持续推进, 尤其是低碳试点城市政策的实施, 有效促进了绿色低碳技术的研发与应用, 减少了高耗能、高排放项目的布局, 从而减缓了土地生态压力。例如, 部分城市通过推广碳普惠模式, 激励企业和个人采取低碳行动, 显著提升了区域环境治理能力, 这从响应维度中的污水处理率、第三产业占比等指标提升中得以体现。空间分布上, 环鄱阳湖城市群因拥有丰富的水系资源和较大的生态空间容量, 其土地生态安全水平长期领先, 这得益于其自然条件的优越性及生态屏障功能的有效维护。而武汉城市群, 尽管在研究初期土地生态安全水平相对较低, 但通过实施耕地保护与生态修复政策, 逐步实现了从“较不安全”到“基本安全”的跨级提升。环长株潭城市群则通过优化产业用地结构, 提高了土地利用效率, 促进了土地生态状态的改善。

针对长江中游城市群土地生态安全的优化路径, 不同类型的城市应当辩证分析, 区别优化。资源型城市如黄石、萍乡等, 其土地生态安全主要受到资源开采活动的影响。此类城市应严格控制资源开采规模和强度, 采用先进的开采技术和设备, 减少对地表的破坏和污染物的排放。同时, 加大生态修复投入, 对受损土地进行复垦和绿化, 恢复其生态功能, 积极发展接续产业和替代产业, 降低对单一资源的依赖, 实现经济结构的多元化和可持续发展。服务型城市如长沙、武汉等中心城市, 其土地生态安全主要受到人口密集和消费活动频繁的影响。这类城市应优化城市空间布局, 合理规划城市功能区, 避免过度开发和无序扩张, 增加城市绿地和湿地等生态空间, 提升城市生态承载力。在保障经济发展的同时, 有效提升土地生态安全水平。工业型城市如宜昌、襄阳等, 其土地生态安全主要受到工业污染的影响。因此需要推动产业升级和转型, 淘汰落后产能和高污染产业, 发展低能耗、低排放的绿色产业。

需要注意的是, 部分大型城市, “压力”指标占比较高, 体现在人口集中带来的公共服务难题、工业发展对环境的破坏以及城市扩张对生态空间的侵占等方面。而技术进步作为“响应”指标, 在权衡发展与保护上作用显著。智能交通、在线教育等技术缓解公共服务压力; 清洁能源和污染治理技术推动工业绿色转型; 遥感监测和生态修复技术助力生态保护。不过, 技术创新成本高、更新快, 公众接受度有差异。各方需共同努力, 发挥技术优势, 实现城市可持续发展。

6. 结论

2013~2022 年, 长江中游城市群土地生态安全指数呈波动上升态势, 安全等级从“临界安全”逐步向

“基本安全”乃至“比较安全”进阶, 整体生态安全状况持续改善。三大子城市群呈现显著区域梯度特征: 环鄱阳湖城市群始终处于领先地位, 率先迈入“比较安全”等级; 环长株潭城市群稳定处于“基本安全”水平; 武汉城市群实现从“较不安全”到“基本安全”的跨级提升, 但仍为区域薄弱环节。

2013~2022 年长江中游城市群 28 个地级市土地生态安全等级整体呈稳步上升态势, 从较不安全区间逐步向比较安全水平跨越。2013 年北部、西南部多地处于较不安全或临界安全等级, 后续逐年优化, 2022 年仅北部孝感、黄冈等少数城市等级偏低。空间上, 南部、东部城市安全水平长期最优, 中部、西部城市提升幅度显著, 北部城市整体安全水平相对较差, 部分城市提升进程滞缓, 区域土地生态安全空间差异随时间推移逐步优化。

参考文献

- [1] 栗滢超, 王慧姣, 孟庆香, 等. 农地流转对土地生态安全的影响研究进展[J]. 河南农业大学学报, 2024, 58(3): 365-373.
- [2] 刘洋豪, 谢保鹏, 陈英, 等. 基于 PSR-TOPSIS 模型的陇中陇东黄土高原土地生态安全评价及障碍因子诊断[J/OL]. 水土保持通报, 1-11. <https://link.cnki.net/doi/10.13961/j.cnki.stbctb.2026.01.010>, 2025-12-23.
- [3] 张洪, 王安琦, 宋贝扬. 基于 OWA 的大理市土地生态安全评价研究[J]. 地理科学, 2017, 37(11): 1778-1784.
- [4] 李春燕, 南灵. 陕西省土地生态安全动态评价及障碍因子诊断[J]. 中国土地科学, 2015, 29(4): 72-81.
- [5] 李志英, 薛梦柯, 王绍邦, 等. 基于 PSR-PLUS 模型的昆明市土地生态安全预警研究[J]. 长江流域资源与环境, 2025, 34(4): 871-881.
- [6] 黄烈佳, 杨鹏. 长江经济带土地生态安全时空演化特征及影响因素[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(8): 1780-1790.
- [7] 庞雅颂, 王琳. 区域生态安全评价方法综述[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(S1): 340-344.
- [8] 李秀霞, 张希. 基于熵权法的城市化进程中土地生态安全研究[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(9): 13-17.
- [9] 王钺, 郭小红, 阙怡, 等. 基于 AHP 的土地生态安全评价研究与分析——以四川省巴中市为例[J]. 国土资源科技管理, 2016, 33(6): 94-100.
- [10] 马艳. 基于熵权 TOPSIS 法的湖北省土地生态安全评价[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(8): 28-34.
- [11] 金晶, 苏钰瑶, 冀县卿. 城市土地生态安全的时空演化、风险感知及治理策略——基于江苏省面板数据的实证分析[J]. 中国国土资源经济, 2025, 38(3): 17-26+89.
- [12] 汪容宽, 陈池波, 潘经韬, 等. 长江中下游粮食主产区土地生态安全与粮食安全耦合协调分析[J]. 中国农业资源与区划, 2024, 45(6): 1-10.
- [13] 向丽. 长江经济带土地生态安全综合评价及比较研究[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(7): 282-286.
- [14] 何如海, 徐楚涵, 王成, 等. 淮河生态经济带土地生态安全时空分异分析[J]. 西南林业大学学报(社会科学), 2024, 8(4): 96-103.