

耕地“非粮化”背景下耕地韧性时空特征分析

夏可卿*, 简文浩

江西师范大学城市建设学院, 江西 南昌

收稿日期: 2025年12月8日; 录用日期: 2026年1月8日; 发布日期: 2026年1月14日

摘要

研究目的: 探究耕地“非粮化”背景下长江中游城市群耕地韧性的时空分布特征, 推动耕地可持续发展, 保障生态安全与粮食安全。研究方法: 基于DPSIR模型选取18个指标构建耕地韧性指标体系, 采用熵权-TOPSIS法进行赋权并计算综合韧性值, 运用MATLAB绘制时序分异图, 利用地理信息系统(GIS)绘制耕地韧性空间分布图。研究结果: 耕地“非粮化”背景下长江中游城市群耕地韧性较低且提升缓慢, 最高值出现在2020年, 为0.2743; 研究期内, 长江中游城市群耕地韧性存在明显空间聚集性, 呈现出南部地区高韧性聚集并向外辐射的空间分布特征。研究结论: 长江中游城市群的耕地韧性有待提升, 提出分区优化措施、合理管控“非粮化”对实现耕地“非粮化”背景下耕地韧性提升与可持续发展具有重要意义。

关键词

耕地韧性, 耕地“非粮化”, DPSIR, 长江中游城市群

Analysis of the Spatio-Temporal Characteristics of Farmland Resilience under the Background of “Non-Grain Use” of Farmland

Keqing Xia*, Wenhao Jian

College of City Construction, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi

Received: December 8, 2025; accepted: January 8, 2026; published: January 14, 2026

Abstract

Research Objective: To explore the spatio-temporal distribution characteristics of farmland resili-

*通讯作者。

文章引用: 夏可卿, 简文浩. 耕地“非粮化”背景下耕地韧性时空特征分析[J]. 土壤科学, 2026, 14(1): 49-56.
DOI: 10.12677/hjss.2026.141006

ence in the Yangtze River Midstream Urban Agglomeration under the background of “non-grain use” of farmland, promote the sustainable development of farmland, and ensure ecological and food security. Research Method: Based on the DPSIR model, 18 indicators were selected to construct a farmland resilience index system. The entropy weight-TOPSIS method was used for weighting and calculating the comprehensive resilience value. MATLAB was used to draw the temporal differentiation map, and GIS was used to draw the spatial distribution map of farmland resilience. Research Results: Under the background of “non-grain use” of farmland, the farmland resilience in the Yangtze River Midstream Urban Agglomeration is relatively low and increases slowly. The highest value was 0.2743 in 2020. During the research period, there was a significant spatial aggregation of farmland resilience in the Yangtze River Midstream Urban Agglomeration, showing a spatial distribution feature of high resilience aggregation in the southern region and radiating outward. Research Conclusion: The farmland resilience in the Yangtze River Midstream Urban Agglomeration needs to be improved. Proposing zonal optimization measures and reasonable control of “non-grain use” is of great significance for enhancing farmland resilience and achieving sustainable development under the background of “non-grain use” of farmland.

Keywords

Farmland Resilience, Non-Grain Use of Farmland, DPSIR, The Urban Agglomeration in the Middle Reaches of the Yangtze River

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

耕地是粮食生产不可或缺的基本资源,是粮食安全的基础[1]。近些年伴随城镇化快速发展,耕地质量、生态环境与粮食安全正面临更加复杂严峻的形势,尤其在耕地“非粮化”背景下,耕地系统承受着巨大压力,耕地保护与发展间的矛盾日趋严重[2]。耕地“非粮化”是指耕地不用于粮食生产而是用于种植蔬菜瓜果等经济作物、发展畜禽养殖等或转为林地、园地、草地等其他农用地的土地利用现象[3]。长江中游城市群作为中国重要粮食主产区和城市群建设支撑点,是中国快速城市化发展背景下应对城市扩张、人类活动等压力,保证国家粮食安全,实现耕地资源可持续利用的典型代表区域[4]。然而,耕地“非粮化”等人类活动或土地利用现象严重削弱了该区域耕地系统的稳定性和韧性,导致耕地功能退化、生态污染加剧等问题[5],对长江中游城市群的生态安全与粮食安全构成严峻挑战[6]。因此,探究如何结合区域典型特征开展耕地“非粮化”冲击下耕地韧性动态演化及其影响因素研究是长江中游城市群协调耕地保护与生态安全、实现耕地可持续利用亟需解决的重要问题。

韧性最早来源于拉丁语“resilire”,意为反弹。目前,韧性的研究领域多聚焦于城市[7]、乡村[8]、经济[9]与生态环境等[10],探究系统在动态演化中对冲击变化的应对能力。学术界关于耕地韧性的研究仍处于起步阶段,指标体系构建也未形成统一标准。例如:有学者从“压力-状态-响应”三维度构建了指标体系评价黑土区耕地韧性[11];有学者构建了涵盖生产禀赋、社会经济因素、规模结构、生态压力和粮食安全五个维度的测度体系,对中国粮食主产区的耕地系统韧性进行测度与分析评价[12];还有学者构建了包括生产韧性、生态韧性和经济韧性在内的综合评价体系揭示了中国粮食主产区耕地韧性系统的时空演变[13]。在研究尺度方面,现有研究多从市、县级等中微层面进行了耕地韧性评价[14][15]。

上述研究为耕地韧性概念界定、评价测度及时空分析等提供了良好的理论参考,但仍存在如下问题

尚待完善：研究框架上，现有研究覆盖领域有限、主观性强，且较少关注子系统之间的正负反馈活动，难以提供完整全面的分析逻辑，导致耕地韧性评价结果片面；研究区域上，多对单个市县的耕地韧性水平进行分析，鲜有基于城市群视角对耕地韧性展开探究分析。DPSIR 模型具有综合性、灵活性、整体性等优点，能反映各子系统间因果关系并有效评价目标对象，被广泛应用于评价各种复杂系统。因此，本文尝试构建基于 DPSIR 模型的耕地韧性评价指标体系，探究 2013~2022 年长江中游城市群耕地韧性水平及其时空分布特征，以期丰富耕地韧性理论内涵，为实现“非粮化”背景下耕地可持续发展、提高长江中游城市群耕地韧性等提供政策建议与决策参考。

2. 材料与方法

2.1. 研究区域概况

长江中游城市群是以武汉都市圈、长株潭都市圈和环鄱阳湖城市群三大城市群为主体，涵盖 3 省 31 市的特大型城市群，地处 $101^{\circ}55'E \sim 122^{\circ}31'E$ 、 $25^{\circ}59'N \sim 34^{\circ}29'N$ ，横跨中国中部重要地带，连通南北、贯穿东西，具有显著区位优势。该区域地形多样，地貌类型丰富，涵盖了江汉平原、洞庭湖平原、鄱阳湖平原及周边丘陵与山地等。该区域内江河纵横、湖泊密布，拥有鄱阳湖、洞庭湖、洪湖等众多水体，自然资源优渥，矿产资源种类较多，生物多样性丰富，土地资源肥沃且利用类型多样。作为中国重要粮食主产区，长江中游城市群在保障国家粮食安全方面发挥关键作用，然而，该区域也面临多重挑战，自然灾害频发、城市化扩张、生态系统结构失衡和功能退化等问题亟待关注。

2.2. 数据来源

本研究的时间范围为 2013~2022 年，研究数据主要来源于《湖北省统计年鉴》《湖北农村统计年鉴》《湖南省统计年鉴》《湖南省农村统计年鉴》《江西省统计年鉴》及各市统计年鉴、统计公报及各政府官网公开数据等。个别缺失数据用插值法补齐。

2.3. 研究方法

2.3.1. 熵权-TOPSIS 法

熵权-TOPSIS 法因其计算简单、综合性强而被广泛用于多目标决策。熵权-TOPSIS 法是对传统 TOPSIS 评价法的改进，即先运用极值标准化方法对指标数据标准化处理，使各指标数据具有可比性，将 18 项指标按照指标对评价目标影响的方向分为正、负两个方向，对于正向指标，评价效果越大，评价效果越好，对于负向指标，评价效果越小；通过熵权法确定评价指标的权重，再通过 TOPSIS 法利用逼近理想解的技术确定评价对象的得分排序[16]。计算公式如下：

第一，原始数据标准化：

正向指标：

$$x'_{ij} = (x_{ij} - \min x_{ij}) / (\max x_{ij} - \min x_{ij}) \quad (1)$$

负向指标：

$$x'_{ij} = (\max x_{ij} - x_{ij}) / (\max x_{ij} - \min x_{ij}) \quad (2)$$

其中， x_{ij} 为第 j 个指标第 i 年的标准化值， $\max x_{ij}$ 和 $\min x_{ij}$ 分别为指标的最大值和最小值。

第二，使用熵权法计算权重：

$$y_{ij} = x'_{ij} / \sum_{i=1}^n x'_{ij} \quad (3)$$

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n y_{ij} \times \ln y_{ij} \quad (4)$$

$$\omega_j = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^m (1 - e_j) \quad (5)$$

式中, y_{ij} 为第 j 个指标第 i 年的标准化值, e_j 为第 j 个指标的熵, ω_j 为指标的权重。

第三, 确定正理想解和负理想解;

$$a_{ij} = y_{ij} \times \omega_j \quad (6)$$

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (a_{ij} - a_j^+)^2} \quad d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (a_{ij} - a_j^-)^2} \quad (7)$$

其中 a_j^+ 和 a_j^- 分别是第 j 个指标的最大值和最小值, d_i^+ 是从评价对象到正理想解的距离, d_i^- 是从评价对象到负理想解的距离。

第四, 计算相对接近度, 即耕地韧性。

$$R_i = d_i^- / (d_i^+ + d_i^-) \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (8)$$

R_i 值越大, 耕地韧性水平越高。

2.3.2. DPSIR 模型及耕地韧性指标体系构建

耕地作为最稀缺的土地资源之一, 与人类福祉有着错综复杂的联系[17]。耕地系统需应对经济社会发展和人类活动带来的压力, 但在与外界环境系统交互作用过程中, 始终处于自我调节和动态变化[18], 具有抵御扰动冲击而保持系统稳定、功能不变的韧性[13]。鉴于此, 本文认为耕地韧性不仅包括耕地系统在受到干扰后能进行抵抗、适应、恢复, 以维持系统结构不变和功能稳定的能力, 还包含在耕地“非粮化”背景下能适应新环境条件, 确保耕地系统生态保障、社会稳定、经济供给和粮食安全等综合映射能力。

在本文中, DPSIR 模型清晰反映了“非粮化”背景下耕地韧性指标体系中各指标之间的因果关系, 即“为什么会发生(驱动力指标、压力指标), 发生了什么(状态指标、影响指标)以及如何应对(响应指标)”[19], 分别对应耕地韧性的抵抗力、适应力及恢复力等核心属性, 系统整合了资源、经济、环境、政策等多种要素, 可以科学评估耕地韧性水平。在遵循指标选择的科学性、可行性、系统性等原则以及数据可获得性的基础上, 选取 18 个指标构建耕地“非粮化”下的耕地韧性评价指标体系, 对长江中游城市群的耕地韧性水平进行测度, 如表 1。在本文的 DPSIR 理论框架中, 驱动力(D)是指耕地“非粮化”的潜在因素, 粮经产值比反映种粮比较收益, 是非粮化根本原因, 城乡收入比和城镇化率反映“非粮化”社会驱动因素; 压力(P)是指驱动力作用之后施加在耕地系统上的压力, 非粮化会带来耕地面积减少、稳定性差、土壤污染等压力; 状态(S)指在 D 和 P 作用下耕地的状态, 土地垦殖率、水土协调程度衡量耕地生态状态, 耕地人口承载力反映社会状态, 耕地平均产值反映耕地经济状态; 影响(I)指耕地“非粮化”影响耕地韧性的后果, 包括环境安全和粮食安全; 响应(R)指针对上述变化制定有利的政策和应对措施等, 包括制定粮食安全保护政策、提高环保支出、推动农业现代化等。

Table 1. Evaluation index system of farmland resilience in the middle reaches of the Yangtze River Urban Agglomeration under the background of “non-grain use” of cultivated land

表 1. 耕地“非粮化”背景下长江中游城市群耕地韧性评价指标体系

准则层	指标层	指标权重	指标属性
D	粮经产值比	0.0465	+
	城乡收入比	0.0209	-
	城镇化率	0.0269	-

续表

P	人均耕地面积	0.0524	+
	耕地转移度	0.0044	—
	单位耕地化肥施用量	0.0073	—
	单位耕地农药施用量	0.0245	—
	单位耕地农膜使用量	0.0101	—
S	土地垦殖率	0.0954	+
	水土协调程度	0.0737	+
	耕地人口承载力	0.0902	+
	耕地平均产值	0.0325	+
I	水土流失程度	0.0051	—
	粮食播种面积占比	0.0054	+
	人均粮食占有量	0.0856	+
R	粮食保护政策	0.1689	+
	单位耕地节能环保支出	0.1742	+
	机械化程度	0.0760	+

3. 研究结果

本研究采用熵权-TOPSIS 法计算各维度和指标的权重,由表 1 可知,驱动力、压力、状态、影响、响应五个维度的权重分别为 0.0943、0.0987、0.2918、0.0960、0.4192,权重大小顺序为响应(R)> 状态(S)> 压力(P)> 影响(I)> 驱动力(D)。响应维度的权重最高,反映政府及相关部门为维持或提高长江中游城市群耕地韧性采取积极有力的措施;状态维度的权重次之,反映耕地状态的改善有助于“非粮化”背景下耕地韧性提升;再其次是压力和影响维度的权重,反映在“非粮化”背景下,耕地存在诸多压力,环境安全及粮食安全面临威胁,提高耕地韧性存在诸多困难。

3.1. 长江中游城市群耕地韧性时序分异特征

得出权重后计算出长江中游城市群 31 个城市的耕地韧性指数。图 1 反映的是 2013~2022 年长江中游城市群及其三大区域耕地韧性时序变化特征,可以看出研究期间长江中游城市群耕地韧性指数平均值呈现出波动上升的趋势,从 2013 年的 0.2325 提升至 2022 年的 0.2728,增长率为 17.33%,并于 2020 年达到峰值(0.2743)。这表明在“非粮化”背景下长江中游城市群耕地应对压力、保持粮食安全与社会稳定的能力在研究期内逐渐增强,整体韧性指数仍有较大提升空间。分区域来看,各子城市群耕地韧性呈现增长的态势,但增长趋势存在细微差异,环长株潭城市群和环鄱阳湖城市群耕地韧性指数始终大于武汉城市群。

3.2. 长江中游城市群耕地韧性空间分布特征

根据 2013~2022 年长江中游城市群各地区耕地韧性评价结果,采用自然断点法将耕地韧性水平划分为四个等级:低韧性区、中低韧性区、中高韧性区和高韧性区(如图 2),进而对耕地韧性水平进行空间分布特征分析。首先,长江中游城市群耕地韧性总体发展水平较低,但呈现出上升趋势,并且存在十分明显的空间聚集性特点,研究区域内部呈现出南部地区高韧性聚集并向外辐射。另外,三大子城市群的耕地韧性空间特征也存在显著差异。低韧性区域多分布在武汉城市群,其中宜昌市、咸宁市的耕地韧性始终位于低值,除黄冈市外其余城市耕地韧性水平有所改善;环长株潭城市群的耕地韧性水平多数位于中

低水平，其中娄底市的耕地韧性水平最低，而常德市、益阳市逐渐发展为中高韧性区；环鄱阳湖城市群耕地韧性水平整体上有所改善，其中九江市的耕地韧性水平不断提高并于 2022 年成为韧性水平最高的城市。

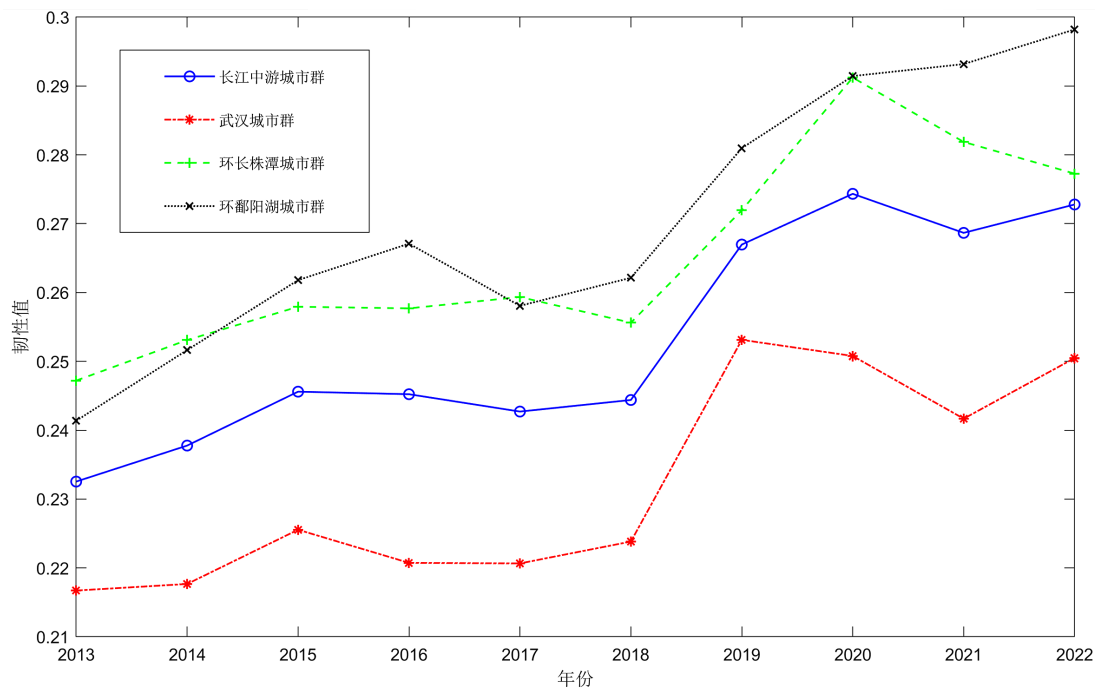
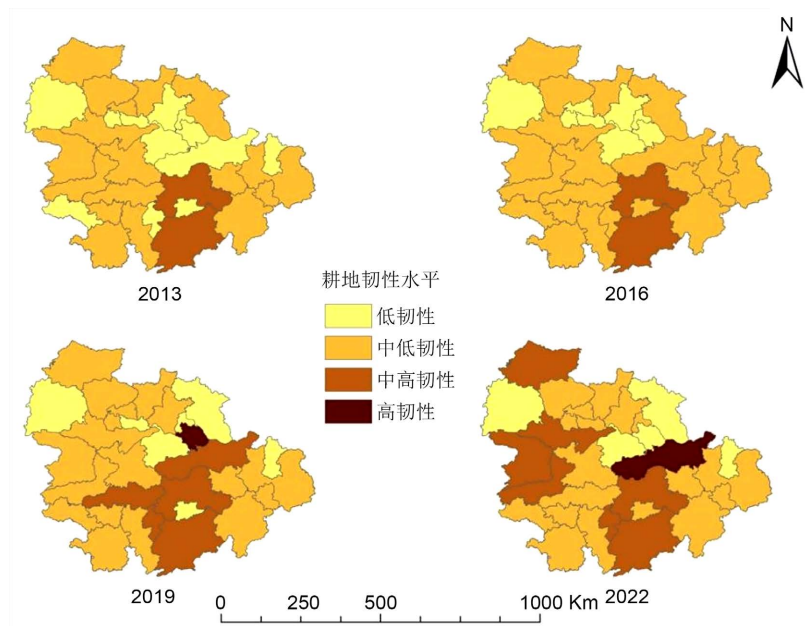


Figure 1. The temporal variation characteristics of cultivated land resilience in the Yangtze River Midstream Urban Agglomeration and its three sub-urban agglomerations from 2013 to 2022
图 1. 2013~2022 年长江中游城市群及三大子城市群耕地韧性时序变化特征



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 characteristics of cropland resilience in the Middle Yangtze River Urban Agglomeration and its three major regions from 2013 to 2022
图 2. 2013~2022 年长江中游城市群及其三大区域耕地韧性空间分布特征

4. 讨论

从时序特征来看, 2013~2022 年研究区域耕地韧性水平总体呈上升趋势, 这与 Xiao Lyu (2021)的研究结果一致。可能的原因在于: 国家实施高标准农田建设、生态补偿机制、耕地保护政策、农业补贴政策等有效措施, 耕地系统的数量质量以及抵抗灾害和冲击的能力都得到显著提升, 因此长江中游城市群耕地韧性总体提升。从空间分布特征来看, 低韧性区域多分布在武汉城市群, 环长株潭城市群耕地韧性多数位于中低水平, 环鄱阳湖城市群耕地韧性水平最高, 可能的原因是: 武汉城市群河网密布且地势低洼, 易受灾害侵袭, 并伴随着快速城镇化的挤压及频繁的人类干扰, 耕地保护与经济发展矛盾突出, 导致耕地数量减少、质量降低, 土地开发强度高, 耕地的抗风险能力弱, 耕地韧性低; 而环鄱阳湖城市群和环长株潭城市群耕地自然条件较为优渥, 耕地系统自我调节能力较好, 同时通过差异化的耕地保护治理策略实现耕地资源的高效利用与生态功能的稳定维持, 因此耕地韧性水平较高。未来, 武汉城市群等低韧性区域应加强基本农田用途管制, 持续推进高标准农田建设, 合理调整农业结构, 保证耕地数量质量和生态安全, 以增强耕地防灾减灾能力; 环鄱阳湖城市群及环长株潭城市群等区域应推动绿色农业发展, 实施合理的农药使用管理措施, 实现农业可持续发展, 打造优质粮产品牌保障粮食安全, 以巩固韧性优势。

5. 研究结论

本研究主要结论如下: 耕地“非粮化”背景下长江中游城市群耕地韧性提升缓慢, 2022 年耕地韧性指数仅为 0.2728, 增长率 17.33%。2013~2022 年, 各子城市群韧性均值排序如下: 环鄱阳湖城市群耕地韧性(0.2709) > 环长株潭城市群耕地韧性(0.2653) > 武汉城市群耕地韧性(0.2321); 研究期内, 长江中游城市群耕地韧性存在十分明显的空间聚集性, 呈现出南部地区高韧性聚集并向外辐射特点, 低韧性区域多分布在武汉城市群, 中低韧性区域多分布在环长株潭城市群, 中高韧性和高韧性区域多分布在环鄱阳湖城市群。

参考文献

- [1] Bai, E., Guo, W., Zhang, H., Tan, Y., Li, X. and Wei, Z. (2024) Degradation Mechanism of Cultivated Land and Its Protection Technology in the Central Coal-Grain Overlapped Area of China. *Journal of Cleaner Production*, **468**, Article 143075. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143075>
- [2] Zhang, D., Yang, W., Kang, D. and Zhang, H. (2023) Spatial-Temporal Characteristics and Policy Implication for Non-Grain Production of Cultivated Land in Guanzhong Region. *Land Use Policy*, **125**, Article 106466. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106466>
- [3] Jiang, C., Wang, L., Guo, W., Chen, H., Liang, A., Sun, M., et al. (2024) Spatio-Temporal Evolution and Multi-Scenario Simulation of Non-Grain Production on Cultivated Land in Jiangsu Province, China. *Land*, **13**, Article 670. <https://doi.org/10.3390/land13050670>
- [4] Dai, X., Wang, L., Huang, C., Fang, L., Wang, S. and Wang, L. (2020) Spatio-Temporal Variations of Ecosystem Services in the Urban Agglomerations in the Middle Reaches of the Yangtze River, China. *Ecological Indicators*, **115**, Article 106394. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106394>
- [5] 王舒琪, 叶兴庆. 耕地非粮化的负外部性问题及化解策略[J]. 农村经济, 2023(10): 1-10.
- [6] Lu, D., Wang, Z., Su, K., Zhou, Y., Li, X. and Lin, A. (2024) Understanding the Impact of Cultivated Land-Use Changes on China's Grain Production Potential and Policy Implications: A Perspective of Non-Agriculturalization, Non-Grainization, and Marginalization. *Journal of Cleaner Production*, **436**, Article 140647. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140647>
- [7] Tang, D., Li, J., Zhao, Z., Boamah, V. and Lansana, D.D. (2023) The Influence of Industrial Structure Transformation on Urban Resilience Based on 110 Prefecture-Level Cities in the Yangtze River. *Sustainable Cities and Society*, **96**, Article 104621. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104621>
- [8] Tao, T., Ma, L., Liu, Y., Tang, H., Wang, X. and Wu, S. (2025) A Systematic Framework for Rural Resilience Assess-

- ment in the Rural Gansu Province, China. *Environmental Impact Assessment Review*, **110**, Article 107715. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107715>
- [9] Sun, Y., Wang, Y., Zhou, X. and Chen, W. (2023) Are Shrinking Populations Stifling Urban Resilience? Evidence from 111 Resource-Based Cities in China. *Cities*, **141**, Article 104458. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104458>
- [10] Zhang, Y., Yang, Y., Chen, Z. and Zhang, S. (2020) Multi-Criteria Assessment of the Resilience of Ecological Function Areas in China with a Focus on Ecological Restoration. *Ecological Indicators*, **119**, Article 106862. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106862>
- [11] 苗欣然, 李泽红, 王梦媛. 粮食供应安全下东北黑土区耕地利用系统韧性时空演变——以齐齐哈尔市为例[J]. 资源科学, 2023, 45(9): 1801-1816.
- [12] Yin, X., Li, Z., Xu, G. and Wan, C. (2024) Integrating Resilience Theory into a Cultivated Land System: Empirical Insights from China's Key Grain-Producing Regions. *Land Degradation & Development*, **35**, 5425-5438. <https://doi.org/10.1002/ldr.5307>
- [13] Xu, W., Jin, X., Liu, J., Li, H., Zhang, X. and Zhou, Y. (2023) Spatiotemporal Evolution and the Detection of Key Drivers in the Resilience of Cultivated Land System in Major Grain-Producing Regions of China. *Land Degradation & Development*, **34**, 4712-4727. <https://doi.org/10.1002/ldr.4804>
- [14] 李宸琪, 张翊, 付保红, 等. 昆明市耕地韧性评价及空间差异[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(12): 4848-4855.
- [15] 孟丽君, 黄灿, 陈鑫, 等. 曲周县耕地利用系统韧性评价[J]. 资源科学, 2019, 41(10): 1949-1958.
- [16] Zhang, Y., Zhang, Y., Zhang, H. and Zhang, Y. (2022) Evaluation on New First-Tier Smart Cities in China Based on Entropy Method and Topsis. *Ecological Indicators*, **145**, Article 109616. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109616>
- [17] Yang, H., Zou, R., Hu, Y., Wang, L., Xie, Y., Tan, Z., et al. (2024) Sustainable Utilization of Cultivated Land Resources Based on "element Coupling-Function Synergy" Analytical Framework: A Case Study of Guangdong, China. *Land Use Policy*, **146**, Article 107316. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2024.107316>
- [18] Lyu, X., Wang, Y., Niu, S. and Peng, W. (2021) Spatio-Temporal Pattern and Influence Mechanism of Cultivated Land System Resilience: Case from China. *Land*, **11**, Article 11. <https://doi.org/10.3390/land11010011>
- [19] Su, J., Wu, H., Zhang, X. and Zhang, Z. (2024) Research on the Impact of Sand and Dust Weather on the Social-Ecological System Resilience Based on the DPWSIR Model—Taking the Arid Cities of Northwest China as an Example. *Ecological Indicators*, **166**, Article 112314. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112314>