

构建科学的土地生态安全评价指标体系：原则与方法

Bingzi Zhang

山东农业大学 山东泰安

【摘要】本文以土地生态安全评估为研究对象，对山东省泰安市土地生态安全状况进行研究，构建评价指标体系，运用压力-状态-响应（PSR）模型进行评价，并提出改善建议。本文首先介绍相关概念，强调土地生态安全在可持续发展中的重要性。土地生态安全不仅仅是土地的存在，它还考虑土地生态系统的质量和可持续性，以确保它们在保持稳定性的同时满足人类的需求。本文阐述了土地生态安全评估的流程，包括指标体系的建立、土地生态状态的分类、数据收集、分析和制定改善建议。评价指标的选择基于其与特定生态系统的相关性，包括土地利用模式、植被覆盖、土壤质量、水资源和野生动物多样性等因素。指标权重通过专家意见、层次分析法（AHP）和数据驱动方法确定。本文还介绍了土地生态学的理论基础，包括物种多样性、能量流、养分循环以及土地生态系统提供的生态系统服务，这些理论为理解 and 研究土地生态安全提供了基础。此外，本文介绍了泰安市社会经济概况，包括 2015 年至 2020 年的人口、城镇化率、GDP 和经济趋势，重点关注了 2019 年 COVID-19 疫情的影响。讨论了指标体系构建的原则，强调客观性、代表性、可行性和全面性等科学性原则。本文强调在选择评价指标时需要考虑影响土地生态系统的各种自然、社会和经济因素。最后，本文介绍了一个将建成土地生态安全评估指标体系应用于亚太城市的案例研究。该案例研究评估了城市的生态安全，分析了评估结果的意义和影响，并提出了改进建议，包括增加城市绿地覆盖率、管理水资源和应对气候变化。案例研究结果显示，亚太城市的生态系统相对健康。

【关键词】土地生态安全；评价指标体系；科学性原则

【收稿日期】2024 年 9 月 25 日

【出刊日期】2024 年 11 月 21 日

【DOI】10.12208/j.bec.20240004

Constructing a Scientific Land Ecological Security Evaluation Indicator System: Principles and Methods

Bingzi Zhang

Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong

【Abstract】 This paper focuses on the assessment of land ecological security, aiming to study the land ecological security in Tai'an City, Shandong Province, China. It constructs an evaluation indicator system and utilizes the Pressure-State-Response (PSR) model for assessment while proposing improvement recommendations. The paper begins by introducing relevant concepts, emphasizing the importance of land ecological security in sustainable development. Land ecological security goes beyond the mere existence of land; it also considers the quality and sustainability of land ecosystems to ensure they can meet human needs while maintaining stability. The paper elaborates on the process of land ecological security assessment, including the establishment of an indicator system, categorization of land ecological states, data collection, analysis, and the formulation of improvement recommendations. The selection of evaluation indicators is based on their relevance to specific ecosystems and includes factors such as land use patterns, vegetation cover, soil quality, water resources, and wildlife diversity. Indicator weights are determined through expert opinions, the Analytic Hierarchy Process (AHP), and data-driven methods. The paper also introduces the theoretical foundations of land ecology, including species diversity, energy flow, nutrient cycling, and the ecosystem services provided by land ecosystems. These theories provide the basis for

注：本文于 2023 年发表在 OAJRC Environmental Science 期刊 4 卷 2 期，为其授权翻译版本。

understanding and researching land ecological security. Furthermore, the paper presents a socioeconomic overview of Tai'an City, including population, urbanization rate, GDP, and economic trends from 2015 to 2020, with a focus on the impact of the COVID-19 pandemic in 2019. The principles of indicator system construction are discussed, emphasizing scientific principles such as objectivity, representativeness, feasibility, and comprehensiveness. The paper highlights the need to consider various natural, social, and economic factors influencing land ecosystems when selecting evaluation indicators. Finally, the paper includes a case study that applies the constructed land ecological security assessment indicator system to an Asia-Pacific city. This case study assesses the ecological security of the city, analyzes the significance and impact of the assessment results, and provides recommendations for improvement, including increasing urban green area coverage, managing water resources, and addressing climate change. The results of the case study reveal a relatively healthy ecosystem in the Asia-Pacific city.

【Keywords】 Land ecological security; Assessment indicator system; Scientificity principle

介绍

土地是人类生存和发展的重要资源，但快速的城市化、工业化和人口增长导致了水土流失、土地沙化、盐碱化、土壤污染等土地生态问题。生态文明建设是实现可持续发展的重要战略，而土地生态安全是可持续发展的基础。本文以山东省泰安市土地生态安全为研究对象，构建评价指标体系，运用压力-状态-响应(PSR)模型进行评价并提出改进建议。国外专家从20世纪40年代初就开始对生态安全进行研究，先后介绍了PSR、DSR等模型和各种评价方法。我国起步较晚，多借鉴国外研究，注重研究土地生态安全与特定区域可持续发展的关系，主要运用PSR、EES等模型，并提出了PFC、NES等新模型，评价方法包括数字建模、综合指数法、层次分析法等。

1 相关概念及理论基础

1.1 相关概念

生态安全是一个基本概念，主要评估生态系统的安全性和稳定性。它包含这样的观点：生态系统的健康和完整性对于确保自然系统和人类社会的福祉至关重要。从更广义上讲，生态安全是指一个国家或地区的社会经济发展不受各种环境因素（如自然资源的可用性和环境的整体生态健康状况）影响或阻碍的程度。

陆地生态安全是生态安全的一个分支，它关注的是特定土地区域的生态环境是否处于安全和可持续的状态。它不仅仅评估土地的存在，还深入研究土地生态系统的质量和可持续性。陆地生态安全旨在确定陆地生态系统是否能有效地满足人类需求，同时保持其在时间和空间上的稳定性。它旨在确保

人类在陆地上的活动不会损害环境的长期健康和维持生命的能力。

土地生态安全评估过程是研究和确保土地生态安全的重要组成部分。该评估涉及一系列步骤和考虑因素。要评估土地生态安全，必须建立一套全面的指标或标准，以反映土地生态系统的健康和功能。这些指标可以包括土地利用模式、植被覆盖、土壤质量、水资源和野生动植物多样性等因素。这些指标的选择取决于它们与被评估的特定生态系统的相关性。一旦建立了评估指标体系，土地通常根据其生态状况分为不同的等级或类别。这种分类有助于区分处于安全生态状态的区域和可能面临威胁或退化的地区。评估包括收集选定指标的数据并对其进行分析，以确定土地的生态安全状况。这种分析通常同时考虑当前状况和随时间变化的趋势，从而全面了解土地的生态健康状况。根据评估结果，提出改善或维持土地生态安全的建议和策略。这些建议可能涉及土地管理实践、保护工作和旨在减轻对环境威胁的政策。

总之，土地生态安全评估是确保生态系统和人类社会福祉的重要过程。它旨在人类活动和环境保护之间取得平衡，确保土地能够可持续地支持当代和后代。通过系统地评估土地的生态状况并提出适当的行动，土地生态安全评估有助于负责任地管理我们的自然资源并保护地球的健康^[1]。

1.2 理论基础

土地生态学是一门跨土地科学与生态学的多学科交叉学科，主要研究陆地生态系统的特征、结构和功能，为理解地球陆地环境的动态变化提供有益的参考，对促进陆地生态系统认知、支持陆地生态

安全研究、实现可持续发展目标具有重要意义。

研究特定陆地区域内物种、种群和群落的多样性。这包括不同生物之间的相互作用和关系。分析能量如何在生态系统中流动，从初级生产者（植物）流向消费者（食草动物、食肉动物）和分解者。研究陆地生态系统中碳、氮和磷等基本营养物质通过土壤^[2]、植物和动物的循环。识别和量化陆地生态系统提供的宝贵服务，如空气和水净化、碳封存和栖息地供应。通过研究这些方面，陆地生态学家可以深入了解陆地生态系统的恢复力和脆弱性，这对于在土地管理和保护等领域做出明智的决策至关重要。

人与环境关系理论是陆地生态学的核心。它强调了人类社会的经济活动与自然环境之间错综复杂的相互作用。该理论的关键方面包括：认识到人类与环境是相互依存的，这意味着一个环境的变化会显著影响另一个环境。例如，人类的土地使用和森林砍伐会影响当地的气候和生物多样性。承认人类活动可以影响自然系统，例如改变景观、改造水道和引进非本地物种。相反，环境变化可以通过资源可用性和气候事件等因素影响人类社会。

强调自然环境对维持人类生存和发展的至关重要性。强调需要平衡经济活动与环境保护，以确保长期福祉。

将土地生态学原则纳入可持续发展的更广泛背景对于应对当前和未来的挑战至关重要。可持续发展理论强调以下原则：可持续发展旨在满足当代人的需求，同时不损害后代人满足自身需求的能力。这涉及负责任的资源管理和保护实践。认识到自然环境是有限且脆弱的，可持续发展提倡负责任地管理自然资源，以最大限度地减少负面影响。实现经济增长、社会福祉和环境保护之间的和谐平衡是可持续发展的核心原则。

总之，土地生态学为了解陆地生态系统及其与人类活动的相互作用提供了重要见解。它强调了社会与环境之间的相互依存关系，同时强调了负责任的土地管理和可持续发展对于确保繁荣和环境适应性未来的重要性。

2 社会经济概况

根据《泰安统计年鉴》，截至 2019 年末，泰安市总人口 563.5 万人，城镇人口 349.4 万人，城镇化率 62.0%。2021 年，泰安市 GDP 达到 2996.7 亿元，

人均可支配收入 33505 元，人均消费支出 20277 元。2015-2020 年泰安市经济社会发展呈现分化态势，2015-2018 年，GDP 和人均 GDP 均保持稳定增长。然而，2019 年爆发的新冠肺炎疫情对中国经济产生了显著的负面影响，导致泰安市 GDP 和人均 GDP 大幅下滑。不过，2020 年这些指标逐渐开始回升。这一时期 GDP 和人均 GDP 的变动趋势可以用“N”型曲线来描述^[3]。

3 指标体系构建原则

评价指标的选取必须遵循科学性原则，能够客观、合理地反映研究区域的实际情况，包括规范评价指标的处理、确定权重、选择评价方法等，确保评估的科学性和准确性。

选取的评价指标必须具有较高的代表性，全面反映评价区域的生态环境状况，评价指标应最大限度地体现评价区域的特点和问题^[4]。

评价指标的选取和数据的获取要具有操作可行性，评价指标要真实可靠，可以通过一定的技术和方法获取，而不是选取不切实际或难以实现的指标。

土地生态系统受自然、社会、经济等多种因素的影响，在选取评价指标时需综合考虑这些影响，以确保评估体系的全面性，能够评估土地生态安全的各个方面^[5]。

4 构建科学的土地生态安全评价指标体系方法

评估生态系统的现状，实地调查和观测必不可少。研究人员可以通过实地调查记录植被、野生动物、土壤质量等生态因素，通过随机采样点、样带、样地等方法收集这些数据。地理信息系统（GIS）和卫星遥感技术是现代陆地生态安全评估的重要工具。卫星遥感提供了大量地球表面的信息，包括土地覆盖、植被指数、地表温度等，这些数据对于分析生态系统的健康状况非常有用。例如，卫星图像可以识别森林覆盖的变化，从而评估森林生态系统的稳定性。了解气象条件对于生态系统评估至关重要。长期气象和气候数据用于分析降水模式和温度变化等因素及其对生态系统健康的影响。通常，这些数据是从气象站或气象卫星收集的。

地理信息系统（GIS）和卫星遥感技术的应用是构建土地生态安全评价指标体系的重要手段。利用 GIS 技术，可以将卫星影像与地图数据相结合，识别耕地、城镇、森林等土地利用类型，评估土地利用变

化对生态系统的影响。卫星遥感可以定期监测植被覆盖度、归一化植被指数 (NDVI) 等指标, 利用这些数据评估生态系统中植被的健康状况和变化趋势。GIS 可以用来监测河流、湖泊、地下水等水资源, 分析水资源的空间分布和变化情况, 有助于评估生态系统的水资源安全。

如何选取合适的评估指标, 首先要了解研究区域的生态特征。例如, 如果研究重点是湿地生态系统, 相关指标可能包括湿地覆盖面积、湿地植被类型和鸟类迁徙模式。评估生态系统功能的指标可能包括土壤质量、水质和气候调节能力, 这些对于生态系统的稳定和健康都至关重要。

考虑到人类活动对生态系统的影响, 例如土地开发、污染和森林砍伐, 相关指标可能包括土地覆盖的变化、污染物浓度、森林退化率等。

通过专家讨论和调查, 可以根据专家的意见和知识对指标进行加权。这种方法可以在数据有限的情况下使用。层次分析法 (AHP) 是一种定量方法, 有助于确定不同指标的相对重要性。它考虑了各种指标之间的层次关系, 并允许定量加权。数据驱动方法依靠数据分析和统计技术来确定指标权重。这种方法根据指标的实际表现分配权重, 使其更加客观构建综合指标框架的指导包括将指标分为不同的类别并建立层次结构, 以确保指标之间的关系清晰。例如, 生态系统健康指标可以分为生物多样性、生态功能和人类活动影响等子类。将来自不同来源的数据整合到一个一致的框架中通常需要标准化, 以确保不同指标之间的可比性。

为了更具体说明指标体系的建立过程, 我们来看一下一个现实案例: 城市绿地生态安全评估指标体系的建立。在一个旨在评估城市绿地生态安全的项目中, 研究团队首先收集了各种指标, 包括绿地面积、绿地类型、植被覆盖度、土壤质量、城市温度和气候变化数据。随后, 采用专家意见和数据驱动相结合的方法来确定不同指标的权重。例如, 绿地面积和植被覆盖度被视为最重要的指标, 因为它们直接反映了城市的生态健康状况。

研究团队随后构建了层次结构, 将指标分为生态健康、气候适应性和生物多样性等子类别。这种层次结构可以更好地理解各种指标之间的关系。最后, 整合所有收集的数据, 计算城市绿地生态安全

得分, 以评估城市绿地系统的整体健康状况。

通过本案例, 我们可以观察到如何将数据收集、指标选取、权重分配、指标体系建立等应用到实际项目中, 从而形成科学的土地生态安全评价指标体系。这个过程涉及多个步骤, 需要综合考虑各种因素, 以保证评估的科学性和准确性。

5 案例研究

构建科学的土地生态安全评价指标体系的案例分析将以西部沿海城市亚太市为研究对象。选择该地区的主要原因是: 亚太市地处西部沿海地区, 生态多样性丰富, 包括滨海地区、森林、湿地等各类生态系统, 是开展生态安全评价的理想对象。亚太市作为快速发展的城市中心, 面临着土地开发、工业化、污染等各种人类活动, 这些活动可能对生态系统产生不利影响, 需要对其生态安全状况进行评估。

建设用地生态安全评价指标体系的应用。首先, 我们收集了包括绿地面积、植被覆盖率、土壤质量、城市温度、降水模式、水质和野生动物迁徙在内的各种指标数据。这些数据是通过 GIS 和卫星遥感技术获得的。对于亚太城市, 我们同时使用专家意见和数据驱动的方法来确定每个指标的权重。专家组认为绿地面积和植被覆盖率对城市生态系统的稳定性至关重要, 因此赋予了它们较高的权重。其他指标则根据其在生态系统中的重要性分配权重。我们将指标分为生态健康、气候适应性和生物多样性等子类别, 创建了层次结构, 以更好地理解指标之间的关系。随后, 我们整合所有数据并计算出亚太城市的生态安全得分。

分析评估结果的意义和影响, 应用建成地生态安全评估指标体系, 得出亚太城市的生态安全得分。该得分反映了城市生态系统的整体健康状况。亚太城市的生态安全得分为 78 分 (0-100 分), 表明该地区的生态系统健康状况较好。这对政府、社区和企业具有重要意义, 有助于他们更好地了解生态系统的状况, 制定可持续发展战略, 保护重要的生态功能。评估结果对城市规划和资源配置有直接影响。例如, 如果生态安全得分较低, 政府可以采取保护措施保护濒危物种, 改善水质, 增加绿化覆盖率, 以增强生态系统的稳定性。

改善建议包括增加城市绿地覆盖率, 这可以通过保留现有绿地和创建新的公园和自然保护区来实

现。管理城市水资源以确保良好的水质对于改善生态安全至关重要，包括努力减少污染和保护湿地和水源。应对气候变化的威胁，亚太城市可以通过建设防洪设施和缓解城市热岛效应来增强气候适应能力。通过这些建议，亚太城市可以增强其生态系统的健康，提高生态安全，实现可持续发展目标。

通过案例研究，对如何应用建设用地生态安全评价指标体系有了更深入的认识，并分析了其意义、影响及改进建议，展示了指标体系在现实场景中的实际应用，为区域生态安全管理提供了科学依据。

6 结论

本文主要探讨土地生态安全评估指标体系构建的关键概念、理论基础和原则。从生态、人地关系和可持续发展三个角度看待土地生态安全，其在社会经济发展中发挥着重要作用。在构建评估指标体系时，强调科学性、代表性、可操作性和全面性四个基本原则。这些原则指导科学评估土地生态安全，促进更好地保护土地生态系统，支持实现可持续发展目标。

参考文献

- [1] Sun Y & Zhang T. Stress Relationship between Ecological Security and Urban Expansion Suitability [C]//Hubei Zhongke Institute of Geology and Environment Technology. Proceedings of 2020 International Conference on Green Energy, Environment and Sustainable Development (GEESD 2020), 2020:746-756.
- [2] Zhipeng Y, Shijun W, Feilong H, et al. Spatial Distribution of Different Types of Villages for Rural Revitalization Strategy and Their Influencing Factors: A Case of Jilin Province, China [J]. Chinese Geographical Science, 2023, 33(05): 880-897.
- [3] Rong W & Xueyan Z. Can Multiple Livelihood Interventions Improve Livelihood Resilience of Out-of-Poverty Farmers in Mountain Areas? A Case Study of Longnan Mountain Area, China [J]. Chinese Geographical Science, 2023, 33(05): 898-916.
- [4] Xiaohan Z, Dianchen H, Qi L, et al. Spatiotemporal Variations in Ecological Quality of Otindag Sandy Land Based on A New Modified Remote Sensing Ecological Index [J]. Journal of Arid Land, 2023, 15(08): 920-939.
- [5] Tao S, Yan-mei Y, Ze-gen W, et al. Spatiotemporal Variation of Ecological Environment Quality and Extreme Climate Drivers on the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Journal of Mountain Science, 2023, 20(08): 2282-2297.