

生态敏感区多维度评估——以南京紫青镇为例

Siwei Tang

西南财经大学天府学院 四川成都

【摘要】随着中国城市化进程的加快，许多城市都受到了负面影响。本项目重点保护南京紫青的生态环境，应用地理信息系统（GIS）加强生态保护和解决环境问题。GIS 可以汇总、分析和可视化空间数据，是生态敏感区（ESA）选择过程中可用的工具之一。生态敏感性是指生态系统对人类活动和自然环境变化的响应程度，反映了区域范围内出现生态问题的可能性。本研究通过模型构建和因子选择来评估紫青的生态敏感性。本研究探讨了 GIS 中分类和数据处理的当前应用，以及空间分析在选址和微气候改善中的潜力。该项目将生态和基础设施指标应用于生态敏感性评估，从因子选择到生态敏感性分区评估。它结合了德尔菲法、层次分析法和叠加法等多种方法。通过分析，对紫青地区景观环境现状进行多维度的评价，为今后的保护和 development 提供依据。

【关键词】城市化；生态敏感区（ESA）；多维方法；地理信息系统（GIS）

【收稿日期】2024 年 10 月 25 日

【出刊日期】2024 年 11 月 20 日

【DOI】10.12208/j.ueep.20240003

A Multi-dimensional Assessment of Ecologically Sensitive Areas: A Case Study of Ziqing in Nanjing

Siwei Tang

Tianfu College of SWUFE, Chengdu, Sichuan

【Abstract】 With the acceleration of urbanization in China, many cities are subjected to negative impacts. This project focuses on protecting the ecological environment of Ziqing in Nanjing by applying Geographic Information System (GIS) to enhance ecological protection and address environmental issues. GIS can aggregate, analyze, and visualize spatial data, serving as one of the tools available during the selection process for Ecologically Sensitive Areas (ESAs). Ecological sensitivity refers to the extent to which ecosystems respond to human activities and changes in the natural environment, reflecting the likelihood of ecological problems arising at a regional scale. In this study, the ecological sensitivity of Ziqing is evaluated through model construction and factor selection. This research explores the current applications of classification and data processing in GIS, as well as the potential of spatial analysis in site selection and microclimate improvement. The project applies both ecological and infrastructural indicators in the evaluation of ecological sensitivity, from factor selection to the assessment of ecological sensitivity zoning. It combines various methods such as the Delphi Method, Analytic Hierarchy Process, and Overlaying Analysis to provide a multi-dimensional evaluation of the landscape environment in Ziqing, offering a basis for future protection and development efforts.

【Keywords】 Urbanization; Ecologically Sensitive Areas (ESAs); Multi-dimensional Methods; Geographic Information System (GIS)

1 简介

近几十年来，景观格局的直接转变是人类快速活动的结果，同时也影响了生态系统的结构和功能，严重损害了生态系统的健康^[1]。作为工业增长和社

会经济活动的中心，城市地区遭受着最为显著的景观格局变化^[2]。过去二十年，中国的土地城镇化，特别是土地扩张方面的城镇化，比人口城镇化发展得更快。造成这种情况的因素包括可耕地的流失、生

注：本文于 2024 年发表在 OAJRC Environmental Science 期刊 5 卷 2 期，为其授权翻译版本。

物多样性的减少和景观破碎化的加剧。此外，空气污染、水质恶化和水资源短缺也是造成这一现象的原因，这些问题影响了三分之二的中国城市^[3]到2030年，预计中国70%的人口将居住在城镇地区。为了向公民提供可持续的规划和设计信息，有必要关注城镇化过程中的景观格局和生态变化^[4]。土地城市化引起了人们对生态敏感性(ES)的极大担忧，主要是因为它往往导致自然栖息地的破碎化和退化。随着城市地区的扩张，自然景观会受到影响，原因是基础设施建设，破坏了当地生态系统的微妙平衡。城市土地的快速扩张也侵占了生态敏感区，对城市生态系统的完整性构成了重大威胁。城市生态敏感区是指位于城市内部和周围的生态要素或实体，它们对城市环境具有生态重要性，但在城市化过程中受到破坏后恢复能力有限^[5]。

为了保护城市地区并减轻城市发展带来的负面影响，研究重点集中在对ESA的保护。2011年环境状况评估中，土壤状况、水质、大气状况、生物多样性等指标用于评估ES。利用地理信息系统(GIS)技术生成了城市规划设计环境敏感性空间分布图^[6]。2015年，学者们采用标准化分级体系对生态安全区进行评估，通过层次分析法(AHP)确定重要性水平或权重^[7]。2023年，学者们建立了生态安全区的生态脆弱性评价体系绩效评价，影响因子选取；并处理相关数据集^[8]。然而，现有的ESA研究主要集中于灰色基础设施或生态空间，分别应用线性方法论(图1)。应用将建筑与自然相结合的多维方法论可以实现更可持续的城市发展。应该有办法整合各种学科和观点，以解决建筑环境与自然生态系统之间复杂的相互作用。

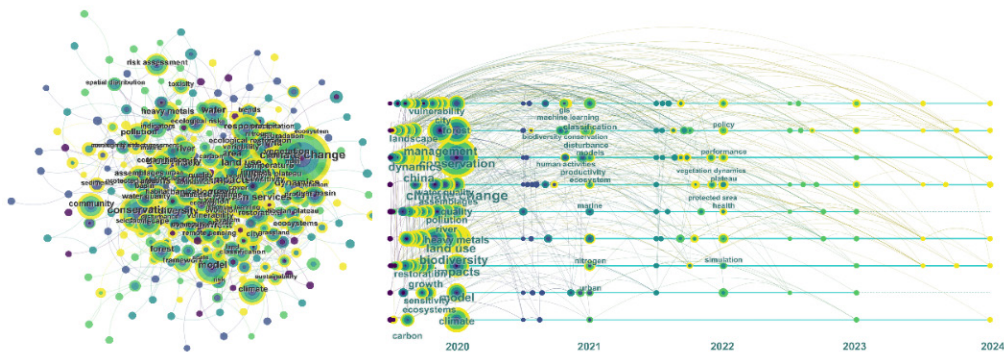


图1 2020年至2024年ESA研究中相互关联的领域 (来源: 作者)

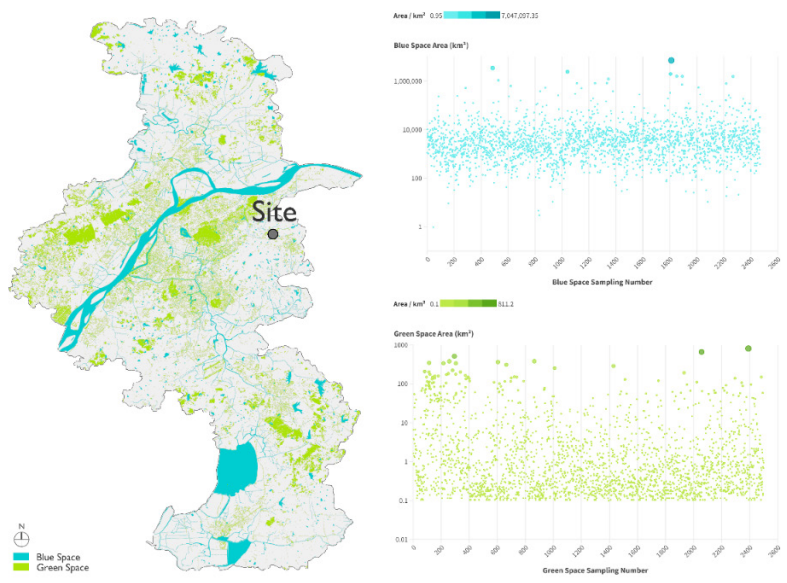


图2 场地位置及采样蓝绿空间区域 (来源: 作者)

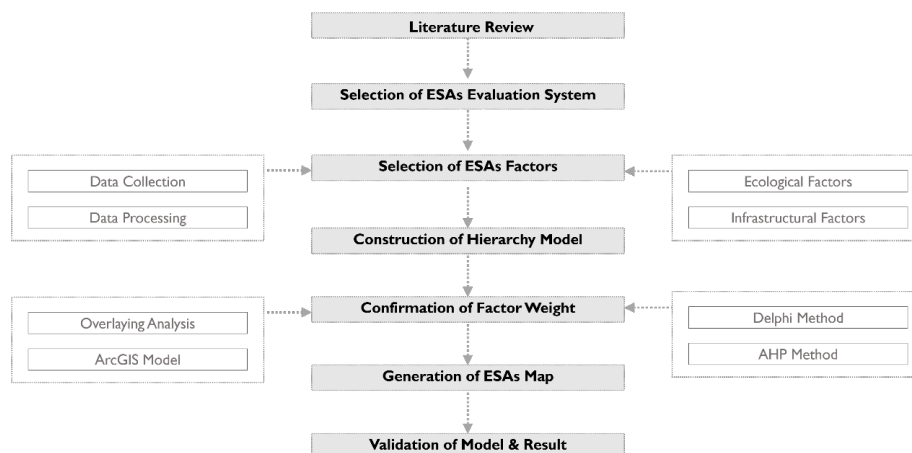


图3 ESA 评估框架（来源：作者）

2 方法论

2.1 研究区域

紫青遗址位于中国长江三角洲的南京。南京是中国最具活力的城市之一。南京是中国最具发展潜力和创新力的城市，吸引了大量人口涌入。同时，南京城镇化水平较高，但生态修复亟待加强。根据南京蓝绿系统分析，南京存在南京的严重分裂自然空间，需要振兴 ESA。许多采样蓝绿空间都是小规模（图 2）。紫青作为具有天然蓝绿空间的地区，自然资源十分丰富，但快速的城市化进程却带来栖息地丧失、生物多样性下降的危险。紫清位于沪宁高速北侧汤山风景区入口处，境内有天然湖泊紫清湖，是国家重点保护动物扬子鳄的栖息地，湖岸及高地植被茂密。但现存的一些建筑和设施已经对紫清湖的生态环境造成了破坏。

2.2 评估框架

评估框架涵盖了多维度的评估原则，包括人为建设和自然环境。本研究通过构建层次模型、选择评估因子、确定因子权重和划定环境影响区域四个步骤对环境的影响进行最终评估（图 3）。紫青县环境影响评估的主要方法包括德尔菲法（DM）、层次分析法（AHP）和叠加法分析（OA）。

DM 是一种系统性通信技术，最初是作为依赖专家组的结构化、交互式预测方法而开发的[9]。在本研究中，DM 涉及对景观专家小组进行调查，以达成共识。专家们会回答几轮问卷，每轮之后，评估因素'分数被总结并与小组分享。这 AHP 是一种基于数学和心理学理解的结构化方法，用于组织和分析复杂的决策[10]。AHP 可帮助决策者确定与最终目标和

对 ESA 的理解相一致的最佳评估方法问题。它为构建 ESA 问题、表示和量化生态和基础设施要素以及将这些要素与 ESA 评估的总体目标联系起来提供了一个全面而合理的框架。OA 是地理信息系统中最常用的方法之一（GIS）中一种用于提取空间信息的方法。该方法起源于传统的透明图层材料的堆叠。在 GIS 中，OA 的目的是通过堆叠由专题图层组成的现有数据层来创建新的数据层。生成的叠加层集成了原始图层的属性。OA 的目的不仅是比较空间关系，而且还比较属性关系。在 GIS 中，OA 主要分为两类：矢量叠加和栅格叠加。

2.3 评估方法

ES 评估使用 ArcGIS 平台进行。首先，收集空间数据并根据其与本研究的相关性进行排列。从根本上讲，定性数据可以直接输入 GIS。各种可视化技术可以将非数字数据形式合并到地图图层中。这些可视化可以从生态和基础设施方面表示多种环境影响。重新分类工作流程从使用不同的分类算法对栅格图层进行符号化以供显示开始。可视化图层由分类设置创建，分类间隔从专家处获取（图 4）。最终生成重新分类的地形、水文、植被、土壤和建筑状况地图（图 5）然后基于多因素评价模型进行空间叠加分析。使用 ESA 因素的权重进行栅格叠加计算，以获得综合敏感度值。

在本项目中，GIS 的探索性分析能力有助于识别定性和定量数据中的空间特征。在研究一个区域的生态敏感性的同时，还研究和叠加环境状况和生态系统服务，以得出生态功能分区，从而有效地指导紫青的保护和发展。

Factor Typology	Primary Factor	Weight	Secondary Factor	Weight	Grading Standard		
					High Sensitivity	Moderate Sensitivity	Low Sensitivity
Ecological	Topography	0.2667	DEM	0.0874	>100m	30-100m	<100m
			Slope	0.1101	>30°	15°-30°	<15°
			Aspect	0.0693	North	Northwest, Northeast	South, Southwest, Southeast
	Soil	0.16	Agrotype	0.12	Clay Soil	Loam Soil	Sandy Soil
			Organic Soil	0.04	>20%	10%-20%	<10%
	Hydrology	0.16	Runoff Buffer	0.0533	<50m	50-100m	>100m
			Water Buffer	0.1067	<20m	20-50m	>50m
	Vegetation	0.2847	Vegetation Coverage	0.1437	Dense	Sparse	Bare
			Floristics	0.0719	Coniferous Forest	Broadleaf Forest	Grassland
			Vegetation Growth	0.0719	Good	Average	Bad
Animal	0.0732	Alligator Habitat	0.0732	50m	50-100m	>100m	
Infrastructural	Construction	0.0526	Land Use	0.0526	Unbuilt Area	Vacant Area	Built-up Area

图4 ESA 的因子权重图 (来源: 作者)

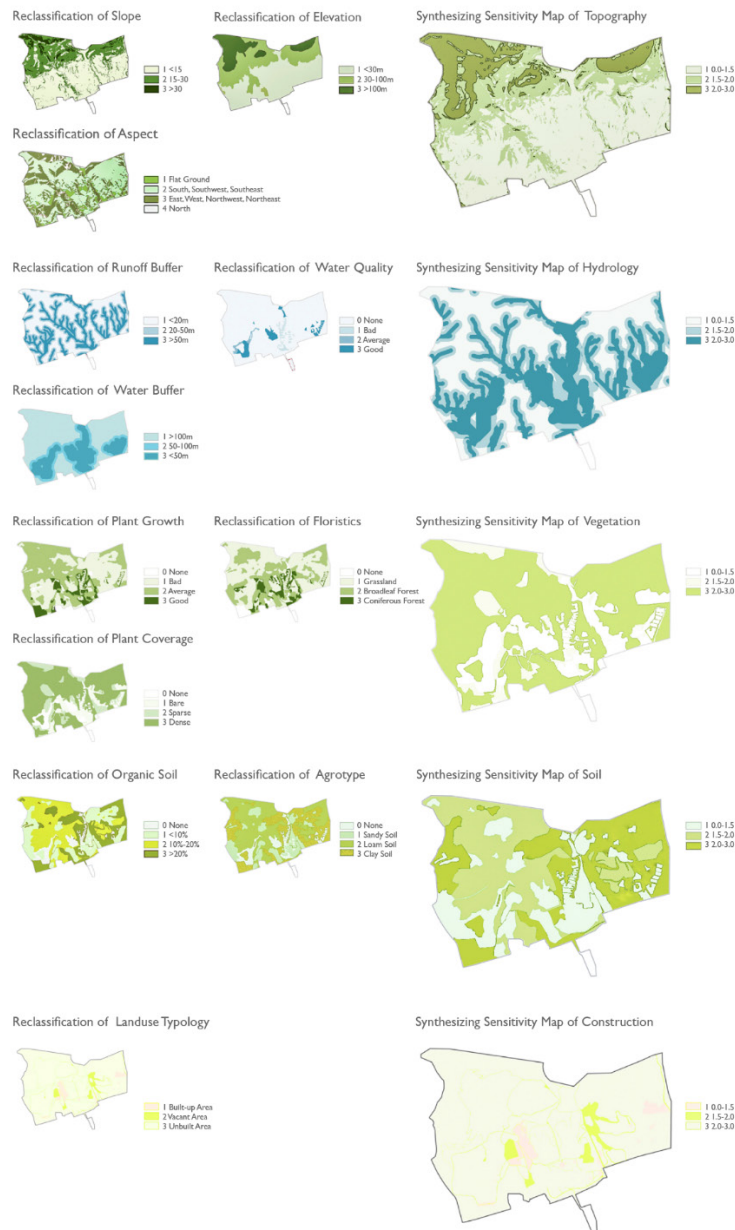


图5 重新分类图 (来源: 作者)



图6 ESA 地图 (来源: 作者)

区域生态系统是一个受多种因素而非单一决定因素影响的复杂实体。ESA 受地形、水文、植被、土壤、建筑等多种要素影响, 本研究基于主要环境因子的作用机理, 分析生态敏感区分异规律, 明确紫青地区可能的空间保护措施, 维护区域生物多样性安全, 支撑经济可持续发展。

3 结果

根据分析的权重, 得出综合 ES 指数。利用 GIS 软件对计算出的敏感度指数进行分类, 并建立 ESA 地图, 对因子评价结果进行加权叠加, 叠加规则为:

$$S = \sum_{i=1}^n W_i P_i$$

S: 敏感度水平, W_i : 因素权重, P_i : 因素得分。

地形因子和植被因子占总权重的 55.14%, 表明植物区系和地形对生态安全区的保护具有重要作用。基于自然突变法, 将计算出的敏感度值重新划分为三类, 对应三个环境敏感度等级。最终通过 GIS 中的权重计算得到生态安全区的评价值 (如图 6)

自然地理条件、气候因素和人类活动决定了资庆县环境变化的影响。生态敏感性较高的区域主要集中在北部山区, 该区域植被以森林为主, 海拔较高, 坡度较大; 中部和南部地势较为平坦, 主要为草原, 人口密度较大, 对人类活动的适应性较强, 受人类活动和自然环境变化的影响较小。南部地区发生环境恶化的概率小于北部地区。但由于历史上的城

市聚集过程, 南方地区仍然存在生态破坏和污染问题。

不适当的开垦、砍伐森林、过度放牧、掠食性捕捞和其他不可持续的人类活动可能会损害生态系统, 并削弱生态系统服务功能^[11]因此, 应将生物多样性恢复作为重点, 确保各类动植物栖息地得到保护和恢复, 从而维护紫青地区的生态平衡。在高敏感区, 必须实施可持续的生态林业资源管理战略, 在开发资源的同时, 确保生态系统的完整性和健康性。为实现这一目标, 应大面积重新分配土地用于造林, 注重生态修复。这一过程包括控制水土流失, 防止土地退化, 通过重新造林和恢复自然植被实现碳汇, 以减缓气候变化的影响。在中度敏感区, 保护水源免受污染至关重要。这不仅涉及直接保护水体, 还涉及管理周边环境, 防止工业活动对水源造成负面影响。应限制工业发展的规模和范围, 确保其不会威胁水资源。

同时, 应鼓励可持续农业和其他低影响的经济活动, 以实现资源的合理利用和生态保护。低敏感区域可进行适度开发, 开发活动应考虑环境影响, 优先采用绿色可持续技术, 确保经济发展与生态保护的平衡。生态保护的内涵不仅仅是空间上的生态分类, 更是从系统的角度对区域社会生态系统的综合考量。^[12]通过实施有效的规划和管理策略, 可以实现经济和生态双赢的结果。这种方法为未来的可持续发展奠定了基础。

4 结论

多维度生态敏感区评估为如何有效降低城市扩张对生态环境造成的潜在破坏提供了指导。敏感区并不意味着禁止人类从事任何活动，而是鼓励城市建设更加重视生态保护，采取适当的措施。

从ESA图上可以看出，生态敏感度高区域主要分布在中部和北部山区，中部地区水资源丰富，北部地区森林较多，海拔较高；中度敏感区域主要分布在南部、东部和西部地区；低度敏感区域主要集中在南部平原和水田地区，这些地区地势平坦，敏感度低于平均水平。

评价指标主要包括生态和基础设施两方面，主要指标包括地形、土壤、水文、动植物、建设等，次要指标包括相对高程、坡度、坡向、土壤类型、土壤有机质、水体缓冲区、流域缓冲区、植被覆盖度、植被类型、植被生长情况、濒危物种栖息地、建设状况等。分级标准包括高敏感度、中敏感度、低敏感度三个等级，评分分别为3分、2分、1分。

城市化扰动强度的增加，生态和基础设施因素对生态系统服务演变的影响因地区而异^[13]。多因素影响分析结果表明，人类活动，特别是城镇化和高级人工建筑设施的开发，对紫青县生态系统的影响更为显著。

本研究在生态敏感性评价中涉及的评价因素范围较广，但在考虑时空指标方面存在局限性，没有关注环境因素随时间和空间尺度的变化，导致对生态动态的理解不够全面，而且本研究主要关注自然和社会因素，评价模型中没有考虑经济因素。

结合自然、社会和经济价值的时空指数，有助于了解敏感度如何随季节变化、土地利用变化和气候变化而变化，从而增强评估。这种方法将有助于制定更有效的规划和管理战略，既考虑当前条件，也考虑未来预测。

参考文献

- [1] Eby P, Peel A J, Hoegh A, Madden W, Giles J R, Hudson P J, et al. Pathogen spillover driven by rapid changes in bat ecology. *Nature*. 2023; 613(7943):340-344. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05506-2>.
- [2] Deng J S, Wang K, Hong Y, Qi J G. Spatio-temporal dynamics and evolution of land use change and landscape pattern in response to rapid urbanization. *Landscape and Urban Planning*. 2009; 92(3-4):187-198. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.05.001>.
- [3] Wang Z. Evolving landscape-urbanization relationships in contemporary China. *Landscape and Urban Planning*. 2018; 171:30-41. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.11.010>.
- [4] Gu T, Luo T, Ying Z, Wu X, Wang Z, Zhang G, et al. Coupled relationships between landscape pattern and ecosystem health in response to urbanization. *Journal of Environmental Management*. 2024; 367:122076. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122076>.
- [5] Niu Q, Yu L, Jie Q, Li X. An urban eco-environmental sensitive areas assessment method based on variable weights combination. *Environment, Development and Sustainability*. 2020; 22:2069-85. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0277-x>.
- [6] Zhang J, Wang K, Chen X, Zhu W. Combining a Fuzzy Matter-Element Model with a Geographic Information System in Eco-Environmental Sensitivity and Distribution of Land Use Planning. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2011; 8(4):1206-1221. Available from: <https://doi.org/10.3390/ijerph8041206>.
- [7] Leman N, Ramli M F, Khierodin R P K. GIS-based integrated evaluation of environmentally sensitive areas (ESAs) for land use planning in Langkawi, Malaysia. *Ecological Indicators*. 2016; 61:293-308. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.09.029>.
- [8] Wei X, Eboy O V, Xu L, Yu D. Ecological Sensitivity of Urban Agglomeration in the Guanzhong Plain, China. *Sustainability*. 2023; 15(6):4804. Available from: <https://doi.org/10.3390/su15064804>.
- [9] Rowe G, Wright G. The Delphi technique as a forecasting tool: issues and analysis. *International Journal of Forecasting*. 1999; 15(4):353-75. Available from: [https://doi.org/10.1016/S0169-2070\(99\)00018-7](https://doi.org/10.1016/S0169-2070(99)00018-7).
- [10] Saaty T L, Peniwati K. *Group Decision Making: Drawing Out and Reconciling Differences*. Pittsburgh: RWS Publications, 2013.

- [11] Lu W H, Liu J, Xiang X Q, Song W L, McIlgorm A. A comparison of marine spatial planning approaches in China: Marine functional zoning and the marine ecological red line. *Marine Policy*. 2015; 62:94-101. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.09.004>.
- [12] Liquan X, Junqing Z. The new town development in ecological sensitive area based on resilience thinking. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2016; 216:998-1005. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.12.096>.
- [13] Wei Y, An M, Huang J, Fang X, Song M, Wang B, et al.

How human activities affect and reduce ecological sensitivity under climate change: Case study of the Yangtze River Economic Belt, China. *Journal of Cleaner Production*. 2024; 472:143438. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143438>.

版权声明: ©2024 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



OPEN ACCESS