

基于GIS的济南市生态敏感性分析

王剑昊

山东建筑大学建筑城规学院, 山东 济南

收稿日期: 2026年9月17日; 录用日期: 2026年10月13日; 发布日期: 2026年10月21日

摘 要

为识别济南市不同区域的生态保护优先级, 本文GIS技术为基础, 构建由高程、坡度、坡向、水域缓冲区、植被覆盖度和土地利用类型组成的六因子评价体系。各因子按照不敏感、轻度敏感、中度敏感、高度敏感和极度敏感五级赋值, 并采用给定综合权重进行加权叠加, 依据数据表中的生态敏感指数区间划分综合等级。结果表明: 高敏感斑块在济南市中南部及东南部较为集中, 北部与部分平坦区域以绿色和浅绿色斑块为主。研究结果可为济南市生态分区分管控、山水林田湖草保护和建设用地布局提供空间依据。

关键词

济南市, 生态敏感性, GIS, 加权叠加, 空间分异

Ecological Sensitivity Analysis of Jinan City Based on GIS

Jianhao Wang

School of Architecture and Urban Planning, Shandong Jianzhu University, Jinan Shandong

Received: September 17, 2026; accepted: October 13, 2026; published: October 21, 2026

Abstract

To identify the priority of ecological protection in different regions of Jinan City, this paper adopts GIS technology to establish a six-factor evaluation system consisting of elevation, slope, aspect, water buffer, vegetation coverage and land use type. Each factor is assigned values at five levels: insensitive, lightly sensitive, moderately sensitive, highly sensitive and extremely sensitive. Weighted overlay analysis is performed with given comprehensive weights, and the comprehensive grades are classified according to the intervals of ecological sensitivity index in the dataset. The results show that highly sensitive patches are concentrated in the south-central and southeastern parts of Jinan, while the northern area and some flat regions are dominated by green and light green patches. The findings can provide spatial references for ecological zoning control, conservation of mountains,

rivers, forests, farmlands and lakes, and construction land layout in Jinan City.

Keywords

Jinan City, Ecological Sensitivity, GIS, Weighted Overlay, Spatial Differentiation

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

生态敏感性是生态系统对外界干扰产生环境响应的潜在程度,既反映自然条件对扰动的放大效应,也反映土地利用和植被状况对生态稳定性的约束。对于城市及其周边区域,生态敏感性识别能够把“哪里需要严格保护、哪里可以优化利用”转化为空间化信息,为国土空间管控和生态修复提供依据[1] [2]。

GIS 具有统一管理多源空间数据、开展栅格重分类和叠加计算的优势。已有研究表明,将地形、水体、植被与土地利用等指标组织为层次化评价体系,再结合 AHP 或权重叠加,可以较好地表达区域生态风险的空间差异[3]-[7]。不同地区的生态本底和开发压力不同,评价因子和阈值不宜机械套用,因此应优先采用与研究区数据相匹配的分级标准。

本文以济南市为研究区,依据六因子分级标准、权重及统计结果,对生态敏感性进行重新组织和解释。研究重点包括:一是梳理评价体系及计算逻辑;二是比较各单因子的敏感性结构;三是分析综合敏感性等级及其空间分布;四是提出与数据结果相对应的分区管控建议。

2. 研究区、数据与技术路线

2.1. 研究区与数据来源

济南市位于山东省中西部,地理坐标介于北纬 36°01'~37°32'、东经 116°11'~117°44'之间,南依泰山北麓,北跨黄河两岸,地势南高北低,依次分布低山丘陵、山前倾斜平原、黄河冲积平原三类地貌单元。气候属暖温带大陆性季风气候,四季分明,雨热同期,年平均气温约 14.7℃,多年平均降水量约 670 mm,降水集中于夏季。

境内水系发达,黄河、小清河、徒骇河等河流穿境而过,南部山区林地连片,植被覆盖率高,生态服务功能突出;北部平原耕地集中,城镇与产业布局密集。当前济南市正推进“东强、西兴、南美、北起、中优”的城市发展格局,生态空间保护与开发利用的协同优化成为区域可持续发展的关键议题。

本研究采用多源地理空间数据构建评价基础数据集,所有数据均完成坐标系统一与研究区裁剪预处理:

1. 地形数据: 30 m 空间分辨率数字高程模型(DEM),用于提取高程、坡度、坡向三类地形因子;
2. 植被数据: Landsat 系列遥感影像,经辐射定标、大气校正后,通过归一化植被指数(NDVI)反演得到植被覆盖度数据;
3. 土地利用数据: 30 m 分辨率地表覆盖数据,用于解析不同土地利用类型的空间分布;
4. 水文数据: 河流水系矢量数据,通过缓冲区分析生成水域敏感性评价单元。

2.2. 技术路线

技术路线可概括为“因子分级 - 栅格赋值 - 权重叠加 - 综合分级 - 空间解释”。先将六个因子按

表 1 阈值重分类为 1~5 级，数值越大表示敏感程度越高；再以综合权重进行加权叠加，得到每个空间单元的生态敏感指数；最后按照指数区间划分五个综合等级，并结合图件进行空间分析。综合指数可表示为：

$$S = \sum(w_i \times x_i), i = 1, 2, \dots, 6$$

式中，S 为综合生态敏感指数， w_i 为第 i 个因子的综合权重， x_i 为该因子重分类后的敏感等级值。六项权重之和为 1.000，分别为 0.105、0.155、0.067、0.196、0.230 和 0.247。

3. 评价指标体系与分级标准

六个因子兼顾了地形条件、生态过程和土地覆盖状况。高程、坡度和坡向主要反映地形对水土保持和生态恢复的约束；水域缓冲区描述水体邻近程度；植被覆盖度体现地表覆盖与生态稳定性；土地利用类型则反映不同地类的生态功能差异。具体阈值和权重见表 1。

Table 1. Classification standards and weights for ecological sensitivity assessment factors of Jinan City
表 1. 济南市生态敏感性评价因子分级标准与权重

生态因子	不敏感区(1)	轻度敏感区(2)	中度敏感区(3)	高度敏感区(4)	极度敏感区(5)	综合权重
高程	<600 m	600~1000 m	1000~1400 m	1400~1800 m	>1800 m	0.105
坡度	<8°	8°~15°	15°~25°	25°~45°	>45°	0.155
坡向	平地与正南	东南、西南	正东、正西	东北、西北	正北	0.067
水域缓冲区	>800 m	800~500 m	500~200 m	200~50 m	<50 m	0.196
植被覆盖度	<0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.8	>0.8	0.230
土地利用类型	建筑用地、 未利用土地	耕地、荒地	草地、灌木地	林地	水体	0.247

从权重结构看，土地利用类型权重最高(0.247)，其次为植被覆盖度(0.230)和水域缓冲区(0.196)，说明评价结果对地类生态功能、地表覆盖和水域邻近程度较为敏感；坡向权重最低(0.067)，其贡献相对有限。

4. 单因子生态敏感性分析

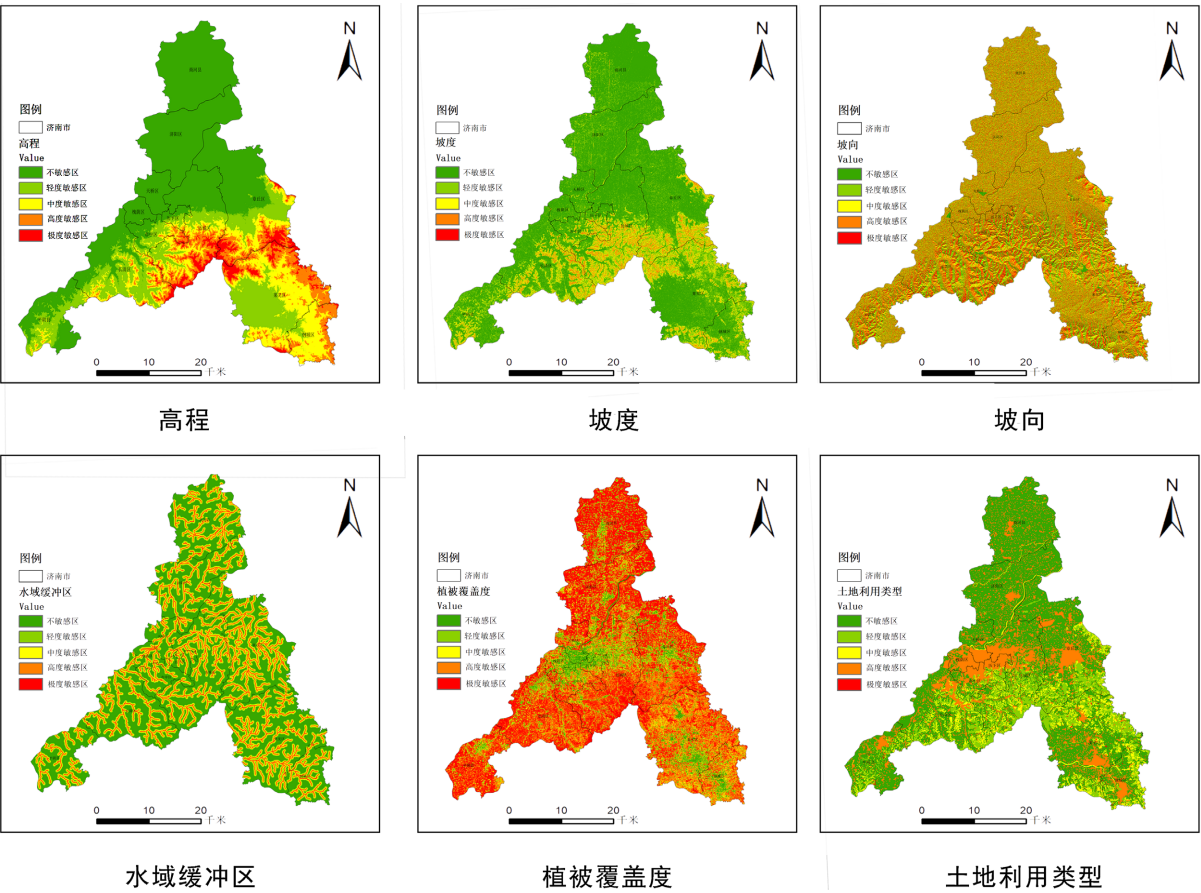
单因子分析用于识别各指标自身的空间敏感性结构。表 2 汇总了六个因子五个等级的面积和占比，图 1 给出了相应的空间分布。由于各因子的等级面积均来自同一研究范围，面积和占比可以直接用于横向比较。

4.1. 地形因子：高程、坡度与坡向

高程因子以不敏感区为主，占 48.92%；轻度和中度敏感区分别占 19.37%和 16.23%，高度与极度敏感区合计 15.48%。这表明高程分级在研究区内形成了由低等级向高等级递减的结构，高海拔区域虽面积相对较小，但在综合评价中具有提升敏感指数的作用。

坡度因子的不敏感区占 65.67%，为六个因子中不敏感占比最高的地形指标；轻度和中度敏感区合计 29.29%，高度与极度敏感区仅占 5.05%。因此，坡度对综合结果的主要贡献来自大面积低坡度背景，局部陡坡斑块则构成需要重点关注的高敏感单元。

坡向因子的五个等级占比在 18.81%~20.95%之间，空间分布最为均衡。极度敏感区占 20.95%，仅比轻度敏感区高 2.14 个百分点，说明坡向本身不形成单一等级主导，而是作为细化地形差异的辅助因子参与叠加。



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(2022)4308 号的标准地图制作，底图无修改。

Figure 1. Spatial distribution of single-factor ecological sensitivity of six evaluation factors in Jinan City
图 1. 济南市六个评价因子单因子生态敏感性分布

Table 2. Area and percentage of different ecological sensitivity levels of evaluation factors in Jinan City
表 2. 济南市各评价因子不同敏感等级的面积与占比

生态因子	指标	不敏感区	轻度敏感区	中度敏感区	高度敏感区	极度敏感区
高程	面积/hm ²	503,232.42	199,220.81	166,964.19	114,655.88	44,527.95
高程	占比/%	48.92	19.37	16.23	11.15	4.33
坡度	面积/hm ²	673,863.52	187,434.04	113,029.48	51,206.92	566.21
坡度	占比/%	65.67	18.27	11.02	4.99	0.06
坡向	面积/hm ²	204,753.91	193,013.05	211,373.09	202,012.63	214,945.02
坡向	占比/%	19.95	18.81	20.60	19.69	20.95
水域缓冲区	面积/hm ²	507,775.31	176,107.17	198,017.37	108,744.62	38,164.61
水域缓冲区	占比/%	49.36	17.12	19.25	10.57	3.71
植被覆盖度	面积/hm ²	62,516.40	103,116.68	126,988.28	296,025.45	440,120.84
植被覆盖度	占比/%	6.08	10.02	12.34	28.77	42.78
土地利用类型	面积/hm ²	571,777.79	132,685.96	92,455.71	230,638.76	1238.90
土地利用类型	占比/%	55.58	12.90	8.99	22.42	0.12

4.2. 水域、植被与土地利用因子

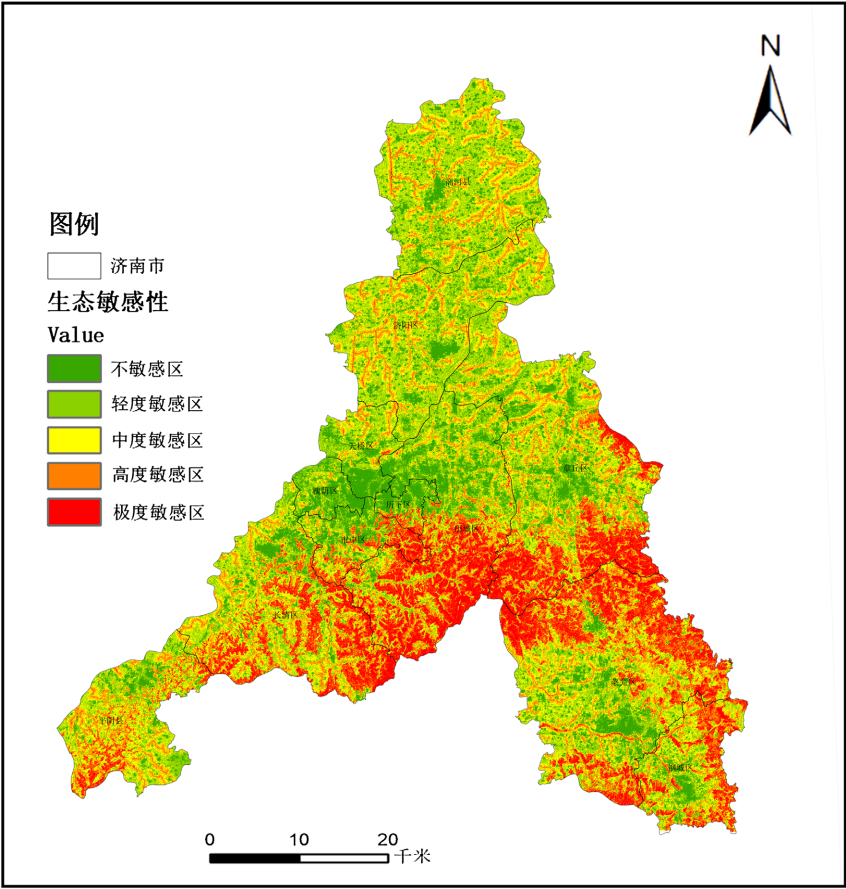
水域缓冲区不敏感区占 49.36%，轻度敏感区占 17.12%，中度敏感区占 19.25%，高度和极度敏感区合计 14.28%。从图 1 可见，高敏感等级主要沿水系或水体邻近区域呈带状、斑块状分布，说明水域邻近程度能够在局部范围内提高生态敏感性。

植被覆盖度的敏感性结构与其他因子差异明显：高度敏感区和极度敏感区分别占 28.77%和 42.78%，两者合计 71.55%；不敏感区仅占 6.08%。在本评价体系中，较高植被覆盖度被赋予更高敏感等级，反映出高覆盖地表通常承载更强的生态功能，受到扰动后需要更谨慎的保护和修复。

土地利用类型不敏感区占 55.58%，高度敏感区占 22.42%，极度敏感区仅占 0.12%。该结果说明建设用地、未利用土地等低敏感类型在面积结构中占较大比重；林地对应的高度敏感等级形成了较明显的生态保护指向，而水体极度敏感面积较小但生态意义突出。

5. 综合生态敏感性评价

将六个因子按表 1 权重进行叠加后，得到综合生态敏感指数，并按表 3 的指数区间划分五个等级。综合图中红色和橙色代表高度及极度敏感区域，黄色代表中度敏感区域，绿色和浅绿色代表不敏感及轻度敏感区域。



该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为 GS(2022)4308 号的标准地图制作，底图无修改。

Figure 2. Spatial distribution of comprehensive ecological sensitivity in Jinan City
图 2. 济南市综合生态敏感性空间分布

Table 3. Classification of comprehensive ecological sensitivity assessment in Jinan city
表 3. 济南市生态敏感性综合评价分级

敏感性等级	赋值	生态敏感指数分级	面积/hm ²	占比/%
不敏感区	1	1~1.82	134,542.72	13.11
轻度敏感区	2	1.82~2.33	262,281.87	25.56
中度敏感区	3	2.33~2.77	296,053.03	28.85
高度敏感区	4	2.77~3.27	192,057.37	18.72
极度敏感区	5	3.27~4.74	141,161.76	13.76

5.1. 综合等级结构

综合结果以中度敏感区为最大等级，面积 296,053.03 hm²，占 28.85%；轻度敏感区面积 262,281.87 hm²，占 25.56%；高度敏感区面积 192,057.37 hm²，占 18.72%；极度敏感区面积 141,161.76 hm²，占 13.76%；不敏感区面积 134,542.72 hm²，占 13.11%。中度及以上敏感区合计占 61.33%，表明研究区生态空间整体上具有较强的保护需求，不能仅依据不敏感区面积判断开发承载能力。

高度与极度敏感区合计 333,219.13 hm²，占 32.48%，是综合管控的重点区域。[图 2](#) 显示，高敏感斑块在中南部和东南部相对集中，局部形成连续的红色或橙色片区；北部及部分平坦区域绿色斑块较多，与坡度和水域缓冲区的不敏感面积较大相一致。

综合指数区间为 1~4.74，最高等级的上限明显高于低等级区间，说明多因子在局部区域存在叠加效应。尤其是植被覆盖度、土地利用类型和水域缓冲区三个权重较高因子，可能共同抬升中南部山地、林地和水体邻近区域的综合敏感性。

5.2. 空间管控分区建议

(1) 极度敏感区和高度敏感区。该类区域面积合计 333,219.13 hm²，应作为生态保护优先区。建议以保护现状生态功能为主，严格控制新增建设用地和高扰动工程，优先开展水土保持、林地保育、水系缓冲和受损斑块修复。对[图 2](#) 中连续分布的红色、橙色区域，应加强边界管控和项目准入审查。

(2) 中度敏感区。中度敏感区面积最大，占 28.85%，是保护与利用矛盾最集中的过渡区域。建议实施分区准入和强度控制，在保障生态连通性的前提下安排必要的公共服务和基础设施；对植被覆盖度较高、靠近水域或与林地相邻的地块，应采用更严格的建设扰动控制标准。

(3) 不敏感区和轻度敏感区。两类区域合计占 38.67%，可作为城镇更新和低影响开发的主要承载空间，但仍应落实雨洪调蓄、绿地连通和建设强度控制。对于坡度较小但位于水域缓冲带或高覆盖植被斑块边缘的地块，应避免仅按单一低敏感因子作出开发判断。

(4) 动态监测与滚动更新。评价结果是特定数据条件下的空间快照。建议后续在同一评价框架下定期更新植被覆盖度、土地利用和水域缓冲数据，并比较各等级面积变化；当高敏感斑块发生破碎化或向建设用地转化时，及时调整管控清单和修复优先序。

6. 结论

(1) 本文基于 GIS 技术，建立了济南市六因子生态敏感性评价体系。六项权重分别为高程 0.105、坡度 0.155、坡向 0.067、水域缓冲区 0.196、植被覆盖度 0.230 和土地利用类型 0.247，权重结构突出土地利用、植被和水域邻近程度的作用。土地利用类型直接反映人类开发建设的扰动强度，植被覆盖表征地表生态系统发育水平，水域缓冲区体现河湖湿地的生态保护价值，三者共同主导济南市生态敏感性空间格

局；地形因子更多起到基础约束作用，坡向对整体格局的调控能力相对有限。

(2) 单因子结果显示，坡度不敏感区占 65.67%，高程不敏感区占 48.92%，水域缓冲区不敏感区占 49.36%；植被覆盖度高、极度敏感区合计 71.55%，是高等级敏感面积最突出的因子；坡向五级占比接近，呈现均衡分布。地形条件奠定区域敏感性的本底框架：北部黄河冲积平原地势平缓、高程低、坡度小，地形层面本身属于低敏感基底；南部泰山北麓低山丘陵区海拔抬升、地形起伏加大，地形因子为高敏感性提供自然基础，但地形并非决定性因素。植被覆盖度的差异是放大敏感性空间差异的关键，南部山区林地广布，植被覆盖度普遍大于 0.6，推高了单因子敏感等级；北部城镇建设、耕地连片区域植被覆盖被建设用地、农田替代，植被敏感等级显著降低。

(3) 综合评价中，中度敏感区面积最大，占 28.85%；高度和极度敏感区合计占 32.48%，中度及以上敏感区合计占 61.33%。空间上高敏感斑块集中于济南市中南部、东南部，北部及平原区域以低敏感斑块为主。该空间分异格局是自然本底驱动力与社会经济人为驱动力共同耦合的结果。自然地理驱动层面：济南市南高北低的宏观地貌格局是底层诱因，中南部地处泰山北麓，低山 - 丘陵地貌广布，高程、坡度条件决定该区域水土保持风险较高；同时该区域降水下渗形成济南泉水的重要补给区，河沟水系密集，水域缓冲区进一步叠加提升敏感等级；山地气候条件孕育大面积林地，高植被覆盖度进一步强化生态敏感属性，多重高敏感因子空间重合，形成连片的高度 - 极度敏感集聚区。北部黄河冲积平原地势平坦开阔，地形扰动风险低，虽有黄河、小清河等水系穿过，但仅河道周边带状区域受水域缓冲区控制形成局部高敏感，广大平原地形基底以低敏感为主。

社会经济与城市规划驱动层面：济南市“东强、西兴、南美、北起、中优”的城市发展战略深刻影响土地利用格局。“南美”定位要求严格保护南部山区生态，人类大规模开发建设活动受到管控，土地利用以林地、灌木为主，人为扰动强度低，生态系统保存完整，维持高敏感状态；北部平原作为城市拓展、产业布局、耕地保护的主要载体，受城镇扩张、交通路网建设、工农业开发的长期影响，土地利用以建设用地、耕地为主，地表原生植被被改造，直接拉低区域综合生态敏感性；中部老城建成区开发强度高，以不敏感 - 轻度敏感为主。东部片区承担城市东强发展任务，城镇建设与南部山地生态空间交错，因此东南部出现高敏感斑块与城镇低敏感斑块交错破碎分布的特征。交通网络作为人为扰动的廊道，干线公路、铁路沿线土地被建设占用，切割原有生态斑块，使得部分山地边缘出现敏感等级突变现象。产业布局上，北部平原集中大量工业园区、城镇建成区，人为干扰强度大；南部限制大规模工业开发，以生态保护、文旅适度开发为主，人为胁迫较弱，进一步拉大南北生态敏感性的差距。自然条件提供敏感性发展的潜在基础，而人类土地开发活动放大或者削弱这种本底差异，最终塑造当前的空间格局。

(4) 济南市生态管控应形成“高等级严格保护 - 中度等级分类管控 - 低等级低影响利用”的分区策略，并结合植被、水域和土地利用变化开展动态监测。针对自然 - 人为耦合驱动特征，极度、高度敏感区管控不能仅局限于林地保护，还应当兼顾地形水土风险、泉水补给水文功能约束，重点防范旅游开发、矿山复建等人为扰动；对于中部占比最大的中度敏感过渡区，该区域多处于山地 - 平原交接地带，是城市建设扩张与生态保护冲突的前沿，需要重点防范城市向外蔓延蚕食生态空间，管控交通廊道建设带来的生态切割效应；北部平原低敏感区域，虽然地形本底条件适宜开发，但黄河、小清河沿岸水域缓冲区属于局部高敏感孤岛，开发建设中不可忽视河湖生态保护。本文结论严格受所附数据表的因子设置和分级口径约束，后续如更新数据，应保持评价尺度、权重和阈值的一致性，开展驱动力的时序对比，识别不同阶段自然条件与人类活动贡献度的变化，确保时序比较有效。

参考文献

- [1] 杨志峰, 徐俏, 何孟常, 等. 城市生态敏感性分析[J]. 中国环境科学, 2002, 22(4): 360-364.

- [2] 陶星名, 张建英, 王宇峰, 等. 杭州市生态敏感性及其空间分布[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2006, 32(1): 27-30.
- [3] 刘杰, 刘广虎, 王承洋. 基于 GIS 平台的北京市延庆县生态敏感性分析[J]. 地理科学研究, 2018, 7(4): 346-352.
- [4] 周晓玉, 蔡俊, 张文文. 基于 GIS 的国家级生态县的生态敏感性评价——以安徽省霍山县为例[J]. 云南农业大学学报(社会科学), 2021, 15(4): 148-155.
- [5] 吴献文, 陈颖彪. 基于自然资源本底数据的珠三角城市群生态敏感性评估分析[J]. 生态环境学报, 2021, 30(5): 976-983.
- [6] 程畅, 赵丽娅, 王渊. 基于 GIS 的白沙黎族自治县生态敏感性评价与区划[J]. 城市学刊, 2018, 39(5): 103-108.
- [7] 刘昶, 李永树, 谢嘉丽, 等. 基于 GIS 技术的城镇近郊区生态敏感性分析[J]. 测绘地理信息, 2019, 44(1): 108-110.