

青岛市生态空间规划设计研究

——基于GIS的生态敏感性评价与分析

陈祥宇, 张子涵, 吴亚伟*

山东建筑大学艺术学院, 山东 济南

收稿日期: 2024年11月11日; 录用日期: 2024年12月21日; 发布日期: 2024年12月30日

摘要

本文运用地理信息系统(GIS)和层次分析法(AHP)对青岛市的生态敏感性进行了综合评价。通过收集和分析高程、坡度、水域缓冲区、植被覆盖度和土地利用类型等数据, 构建了生态敏感性评估指标体系, 并确定了各评价因子的权重。结果表明, 将研究区分为不敏感、轻度敏感、中度敏感、高度敏感、极度敏感5个等级, 各区域面积占比分别为9.34%、12.03%、46.48%、23.71%、8.43%; 中度敏感区和高度敏感区占据主导地位, 合计占比高达70.19%, 表明青岛市的生态环境敏感程度整体较高; 青岛市的高度敏感区和极度敏感区, 主要集中在地势较高、地形复杂、植被覆盖度高的地区, 这些区域综合生态环境敏感性较强, 需要特别关注。研究结果揭示了青岛市生态敏感性的空间分布特征, 为生态环境保护和管理工作提供了决策支持。本研究对进一步推动青岛市可持续发展具有重要意义。

关键词

GIS, 层次分析法, 生态敏感性评价, 青岛市, 生态环境保护

Research on the Ecological Space Planning and Design of Qingdao City

—Ecological Sensitivity Evaluation and Analysis Based on GIS

Xiangyu Chen, Zihan Zhang, Yawei Wu*

School of Art, Shandong Jianzhu University, Jinan Shandong

Received: Nov. 11th, 2024; accepted: Dec. 21st, 2024; published: Dec. 30th, 2024

Abstract

In this paper, geographic information system (GIS) and analytic Hierarchy Process (AHP) were used

*通讯作者。

文章引用: 陈祥宇, 张子涵, 吴亚伟. 青岛市生态空间规划设计研究[J]. 设计, 2024, 9(6): 1427-1437.

DOI: 10.12677/design.2024.96816

to evaluate the ecological sensitivity of Qingdao. By collecting and analyzing the data of elevation, slope, water area buffer, vegetation coverage and land use type, the ecological sensitivity assessment index system was established, and the weight of each evaluation factor was determined. The results showed that the study was divided into five grades: insensitive, mildly sensitive, moderately sensitive, highly sensitive and extremely sensitive, and the proportion of each area was 9.34%, 12.03%, 46.48%, 23.71% and 8.43%, respectively. Medium-sensitive areas and high-sensitive areas were dominant, accounting for 70.19%, indicating that the ecological environment sensitivity of Qingdao was relatively high. The highly sensitive and extremely sensitive areas in Qingdao are mainly concentrated in the areas with high terrain, complex terrain and high vegetation coverage. These areas are more sensitive to comprehensive ecological environment and need special attention. The results reveal the spatial distribution characteristics of ecological sensitivity in Qingdao, and provide decision support for ecological environment protection and management. This study is of great significance to further promote the sustainable development of Qingdao.

Keywords

GIS, Analytic Hierarchy Process, Ecological Sensitivity Assessment, Qingdao City, Ecological Environment Protection

Copyright © 2024 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

城市生态环境是人类社会赖以生存和发展的基础，也是实现区域可持续发展的重要条件，因此，对城市生态环境质量进行科学评价，对于实现可持续发展至关重要[1]。

城市生态环境与居民生活息息相关，其质量直接关系到人们的健康水平和生活质量[2]。基于可持续发展的视角，运用生态敏感性评价方法，对区域内的生态状况进行深入分析，旨在为未来的城市开发和生态环境保护提供更为严谨和科学的指导[3]。通过这种方式，期望能够转变传统的经济发展模式，优化城市生态环境质量，进而推动城市发展的良性循环[4]。

生态环境敏感性分析模型，由 Steiver 在 20 世纪 60 年代提出，其是在美国风景园林师 Mcharg 的适宜性分析评价基础上完善和发展的[5]。生态敏感性是指生态系统对社会或环境变化的敏感性或响应程度[6]。它是生态系统自我调节的有效和全面的衡量标准。生态敏感性较高的地区通常更容易受到干扰，并表现出较低的复原力，而生态敏感性较低的地区往往更能抵抗这种变化[7]。在青岛市进行生态敏感性评价，可以明确哪些地区更容易受到人类活动的影响，哪些地区需要重点保护，为生态功能区划提供依据。

随着时间推移，生态敏感性研究得到了长足的发展，理论的深化和内容的丰富化日益受到重视。空间尺度趋向于多样化，如公园、山地、工业园区、流域和平原[8]。生态敏感性评估还与土地承载能力、生态土地分析和自然保护区规划密切相关。研究规模主要涉及国家、省、市区域，趋于微观。以往在全国范围内的研究主要集中在综合评估角度的生态环境问题。省级相关研究也在逐渐深化[9]。

地理信息系统(GIS)技术凭借其卓越的空间分析能力和数据处理能力，成为生态敏感性评价中不可或缺的工具。通过 GIS 技术，我们可以将各种生态环境数据(如土地利用数据、地形数据、水域分布数据、气象数据等)进行集成和可视化，从而更直观地了解生态环境的空间分布特征。国内外专家使用 GIS 软件

的强大数据处理和空间分析功能，充分考虑每个评估因素的影响，进行了众多关于生态敏感性评价与分析的研究，并且大部分现有的研究已经实现了准确的评估结果[10]。因此，本研究采用 AHP 层次分析法，并结合 GIS 技术，对青岛市的生态敏感性进行综合评价。

2. 材料与方法

2.1. 研究区概况

青岛市坐落于山东半岛的南端，地理坐标独特，横跨东经 119°30'至 121°00'和北纬 35°35'至 37°09'之间(图 1)。这座城市东临黄海，南濒海域，东北接壤烟台市，西与潍坊市相连，西南则与日照市相邻，总面积辽阔，达到 11,282 平方千米。

气候方面，青岛市位于北温带季风区，气候类型为典型的温带季风气候，四季分明，气候宜人。地形上，青岛是一个典型的海滨丘陵城市，整体地势呈现出东高西低的特点，南北两侧地势相对较高，中部则相对低洼。地貌上，青岛市的地貌类型丰富多样。山地约占总面积的 15.5%，丘陵占 2.1%，平原则占据了 37.7%，而洼地则占据了 21.7%。这些地貌类型共同构成了青岛独特的自然景观。

青岛的海岸线曲折多变，独具特色。其海岸类型主要包括山基岩岸、山地港湾泥质粉砂岸和基岩砂砾质海岸。而在浅海海底，则有水下浅滩、现代水下三角洲以及海冲蚀平原等多种地貌特征。

青岛市内拥有三大主要山系。其中，崂山山脉位于东南部，山势险峻，主峰海拔高达 1132.7 米，是青岛的著名地标之一。南部的胶南山群由大珠山、小珠山、铁橛山等山峰组成，景色秀美。此外，在市区内还分布着浮山、太平山、青岛山等多座山岭，它们与海岸线相映成趣，共同构成了青岛市独特的山水画卷。



Figure 1. Qingdao city map
图 1. 青岛市区位图

2.2. 数据来源

本研究使用的青岛市行政边界数据来自奥维地图的 shp 格式矢量数据；DEM 数字高程模型数据则来源于地理空间数据云的 GDEM V230m 分辨率数据(<http://www.gscloud.cn/>)，通过 ArcGIS 10.6 软件进行重分类、栅格转面等操作计算并提取得到青岛市的高程、坡度、水域缓冲区等数据分级图；植物覆盖率数

据来源于地理空间数据云 Landsat 8 OLI_TIRS 2021 年 1 月和 2 月(云量≤5%)的遥感影像,采用 ENVI5.3 软件统一投影坐标后,进行辐射标定、镶嵌、裁剪等数据预处理之后,计算 NDVI 植被指数来估算植物覆盖度,最后导入 GIS 软件中进行重分类,得到研究区域的植被覆盖类型分级图;土地利用类型数据从全球地表覆盖平台获得(<http://www.globallandcover.com>),并采用 ArcGIS10.6 软件进行裁剪、重分类等处理,得到研究区域所需的植被覆盖度敏感性分析图。

2.3. 研究方法

2.3.1. 评价方法

研究将 GIS 空间分析技术、层次分析法相结合,选取能反映青岛市生态敏感情况的评价因子,通过对单因子划分评价等级体系,进而对各单因子进行生态敏感性评价;然后通过层次分析法对各单因子进行权重判断以及加权计算,最后根据叠加出的综合生态敏感度图分析研究区的生态环境问题[10]。

2.3.2. 建立生态系统敏感性评估指标体系

不同地区的生态条件是不同的,由于不同学科使用的定义各不相同,目前尚无评估生态敏感性的国际标准或规则[7]。地形地貌是影响区域生态敏感性的重要因子,越高越陡的地带,发生自然灾害的可能性越大,生态敏感度也越高,故该研究选取了影响较为显著的高程和坡度因子,影响生态环境的因子则选取水域缓冲区、土地利用类型和植被覆盖度因子[11] [12],将这 5 个因子建立评价指标体系(表 1),所有指标均分为五个级别:不敏感、轻度敏感、中度敏感、高度敏感和极度敏感,对应分数分别为 1、3、5、7、9。

Table 1. Ecological sensitivity evaluation index system of Qingdao City
表 1. 青岛市生态敏感性评价指标体系

编号	生态敏感因子	分级标准	生态敏感度	赋值
1	高程/m	≤50	不敏感	1
		50~100	轻度敏感	3
		100~200	中度敏感	5
		200~500	高度敏感	7
		≥500	极度敏感	9
2	坡度/°	≤5	不敏感	1
		5~10	轻度敏感	3
		10~20	中度敏感	5
		20~30	高度敏感	7
		≥30	极度敏感	9
3	水域缓冲区/m	≥800	不敏感	1
		500~800	轻度敏感	3
		200~500	中度敏感	5
		50~200	高度敏感	7
		≤50	极度敏感	9

续表

4	土地利用类型	不透水面	不敏感	1
		农田	轻度敏感	3
		草原	中度敏感	5
		森林、裸地	高度敏感	7
		水域	极度敏感	9
5	植被覆盖度	<0.2	不敏感	1
		0.2~0.4	轻度敏感	3
		0.4~0.6	中度敏感	5
		0.6~0.8	高度敏感	7
		>0.8	极度敏感	9

2.3.3. 评价因子权重确定

层次分析法是一种将定性与定量分析相融合的决策分析工具，它通过对各个评价因子进行两两对比来构建判断矩阵，进而明确各因子的权重，从而得出一个全面的综合评估值。基于已有文献的研究，本研究采用了 SPASSAU (<https://www.spassau.com/indexs.html>)这一专业的层次分析软件来构建评价因子的判断矩阵，并为进行赋值。参考文献赋值[10]，所得判断矩阵的一致性结果为 0.0832 (<0.1)，满足了预设的要求，从而确保了分析的有效性和可靠性。最终，我们获得了各个单一评价因子的权重值，详细列于表 2 中。

Table 2. Judgment matrix and calculation results of each evaluation factor weight

表 2. 判断矩阵及各评价因子权重计算结果

评价因子	高程	坡度	水域缓冲区	土地利用类型	植被覆盖度	权重
高程	1	1/3	1/5	1/5	1/9	0.0343
坡度	3	1	1/3	1/3	1/7	0.0665
水域缓冲区	5	3	1	1/3	1/7	0.1187
土地利用类型	7	3	3	1	1/5	0.1930
植被覆盖度	9	7	7	5	1	0.5876

3. 结果与分析

3.1. 单因子生态敏感性评价分析

3.1.1. 高程敏感性分析

高程作为生态敏感性评价的关键指标，对青岛市生态功能区的规划布局具有不可忽视的影响。研究表明，随着海拔的升高，生态系统的生物种类逐渐减少，生态敏感性相应增加[13]。根据图 2 所示的高程生态敏感性分布结果及表 3 的评价因子分级占比数据，青岛市高程敏感性以不敏感区域为主，占据总面积的 73.95%，主要分布于中西部地区的即墨区、胶州市、平度市西部和南部、莱西市南部等地；轻度敏感区域占 16.4%，集中于莱西市、平度市东部和胶州市西南部；中度敏感区域占 7.79%，主要分布在平度市和莱西市北部、黄岛区西部、即墨区南部；而高度敏感和极度敏感区域分别仅占 1.44%和 0.42%，主要集中在崂山

区、市南区、市北区、李沧区，以及平度市北部和黄岛区东部。从生态保护和城镇发展的角度来看，青岛市的城镇化建设应当规避高度和极度敏感区。然而，当前青岛市的实际建设情况与这一原则相悖，城镇化发展较好的区域多分布于高度和极度敏感区内，这可能会对生态系统的稳定性和生物多样性构成潜在威胁。

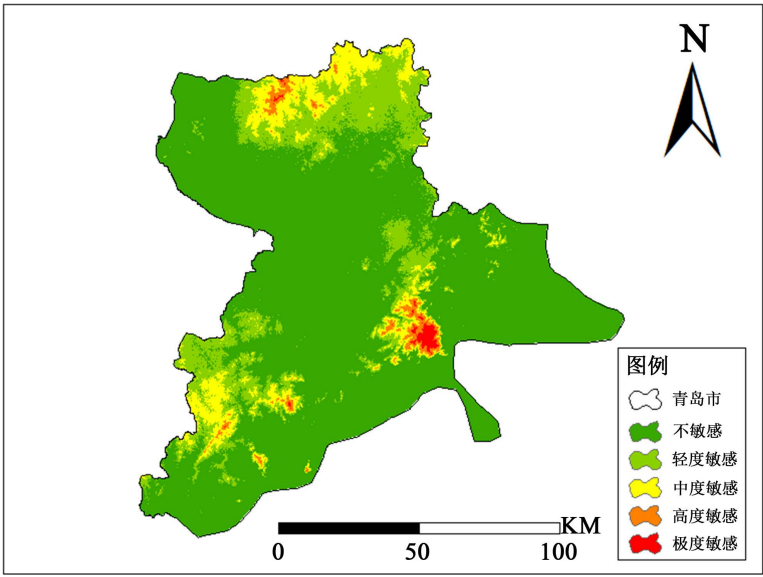


Figure 2. Elevation factor sensitivity analysis diagram
图 2. 青高程因子敏感性分析图

3.1.2. 坡度敏感性分析

坡度作为地形特征的重要表征，对生态敏感性的空间分布起着决定性作用。由于地形条件的差异，不同坡度区域展现出不同的生态敏感性，这为生态保护和恢复提供了重要依据[14]。

根据图 3 和表 3 的数据，青岛市基于坡度的生态敏感性主要呈现为不敏感区域，占比高达 66.0%，集中分布于中西部地区；轻度敏感区域占 22.35%，主要分布于莱西市、即墨区、黄岛区西北部和胶州市西南部；中度敏感区域占 9.15%，高度敏感区域占 1.90%，极敏感区域仅占 0.6%。这三个区域主要集中在崂山区，以及市南区、市北区、李沧区、平度市北部和黄岛区东南部。在崂山区等以山地为主的地区，随着坡度的增加和雨水的冲刷，土壤稳定程度和水土保育能力降低，生态敏感性逐渐增加。

3.1.3. 水域缓冲区敏感性分析

基于 GIS 技术对研究区域内河流的缓冲区分析显示，水环境的生态敏感度与其距离河道的远近密切相关。距离河道较近的水环境往往表现出较高的生态敏感度，而远离河道的水环境则敏感度相对较低[15]。

由图 4 和表 3 可知，青岛市区域内水域缓冲区距离河流大于 800 m 表现为不敏感区域的面积占比最高，约占 56.51%；距河流 500~800 m 和 200~500 m 的轻度敏感和中度敏感区域分别为轻度敏感和中度敏感，分别占比 14.52%和 16.51%；距离河流 50~200 m 的区域为高度敏感区，占比约为 9.21%；距离河流 50 m 以内的区域为极度敏感区，仅占比 3.25%。综上，青岛市在利用水资源时，需特别关注近河区域的水环境保护，防止人类活动对水资源的滥用和污染。

3.1.4. 土地利用类型敏感性分析

土地利用类型是南部山区生态敏感性评价的重要生态因子，是能够反映研究区域的土地用途、土地性质、和土地分布规律[5]。在青岛市，土地利用类型丰富多样，包括不透水面、农田、草原、森林、裸

地、水域等。其中，不透水面主要指由沥青、水泥等材料构成的不透水地面，如房屋、公路和广场等；裸地则指表层为土质或岩石、石砾覆盖，且植被覆盖度较低的土地；而水域则涵盖了江河、湖泊、运河等多种水体及其管理范围，但不包括海域和农田内的鱼塘。这些不同的土地利用类型对生态敏感性的影响各不相同，为生态保护和管理提供了重要参考。由图 5 和表 3 可知，青岛市土地以农田为主，占用地类型的绝大部分，其生态敏感性主要呈现为轻度敏感，占比高达 65.89%；不敏感区域占比 27.44%，大多分布在青岛市城镇化较发达地区；中度敏感和极度敏感区面积相对较小，占比分别为 0.19%和 1.95%；高度敏感区主要在青岛市范围内的风景名胜区，森林资源较多。综上，青岛市土地利用类型敏感度较低，风景名胜区应以生态保护优先，以生态旅游带动经济发展。

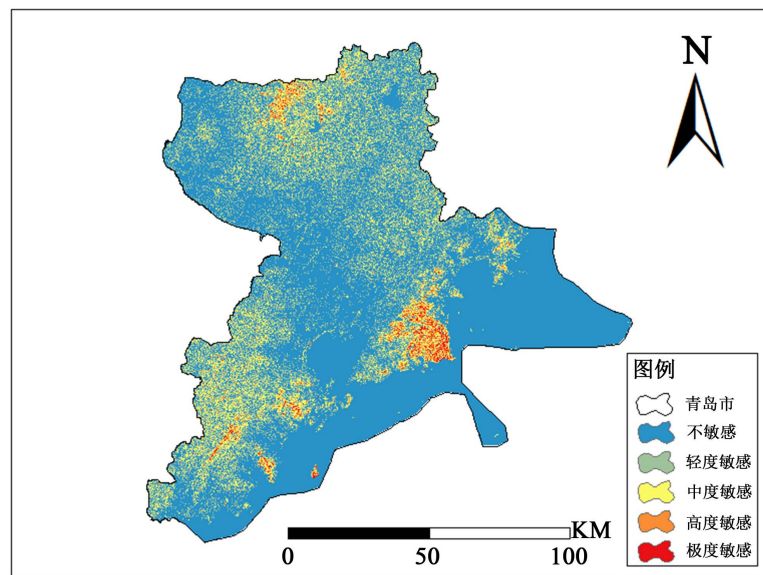


Figure 3. Slope factor sensitivity analysis

图 3. 坡度因子敏感性分析图

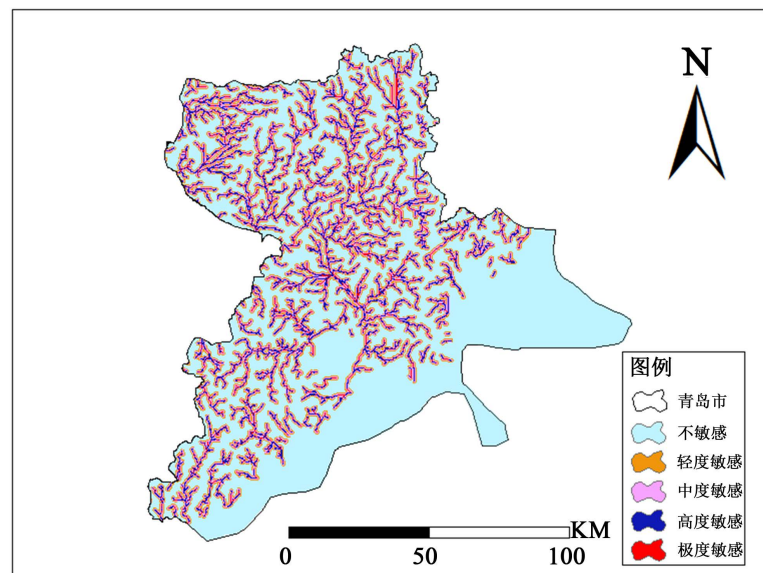


Figure 4. Sensitivity analysis of water area buffer zone factors

图 4. 水域缓冲区因子敏感性分析图

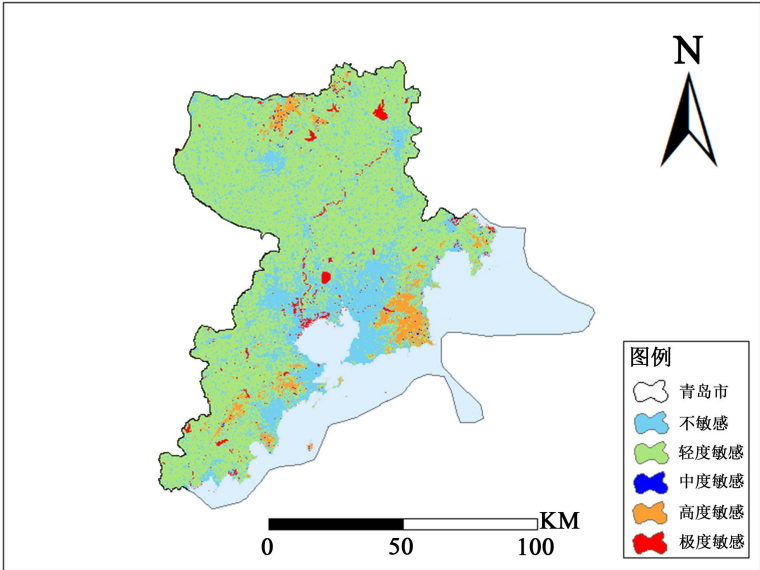


Figure 5. Sensitivity analysis of land use type factors
图 5. 土地利用类型因子敏感性分析图

3.1.5. 植被覆盖度敏感性分析

归一化植被指数(NDVI)可以反映植被的生长状况以及区域植被覆盖情况[16]，区域的植被覆盖度与物种多样性呈正相关，即植被越茂密、物种层次越丰富，其生态恢复能力相对较弱，因此生态敏感性等级相应提升。由图 6 和表 3 可知，青岛市区域范围内，植被覆盖度高度敏感和极度敏感区域面积较大，占比分别为 43.45%和 19.54%，主要分布在即墨市和平度市的西部、黄岛区的西南部、崂山区的大部分和胶州市的西部，在这些区域内，植被生长旺盛，物种多样性高。然而，一旦这些自然植被遭受破坏，土壤侵蚀和生物多样性下降的风险将显著增加，可能引发严重的生态环境问题[13]。

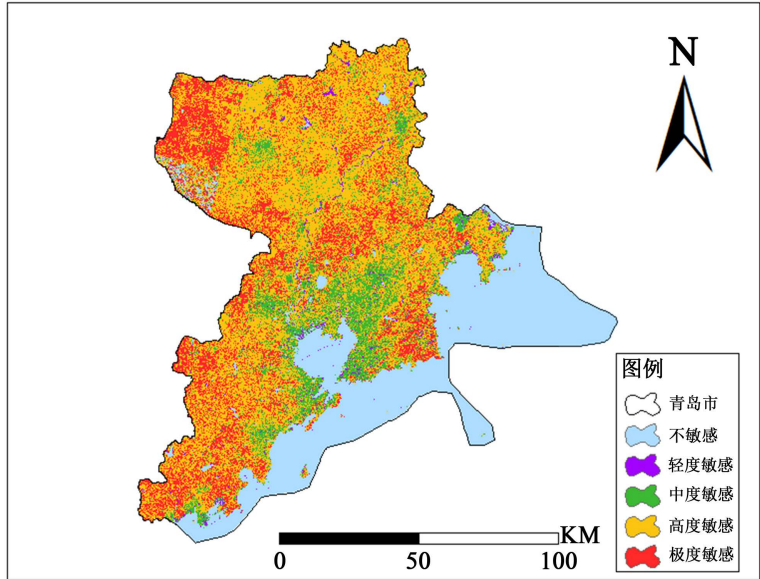


Figure 6. Sensitivity analysis of vegetation coverage factors
图 6. 植被覆盖度因子敏感性分析图

轻度敏感区域面积相对较低，占比 1.43%；中度敏感区域面积占比 11.12%，主要分布在黄岛区的东北部、城阳区、李沧区、市北区和市南区的大部分。综上，青岛市在城市化发展过程中，总体的绿色植被建设情况相对较好，应持续加强，确保生态环境的稳定与安全。

Table 3. Ratio of each evaluation factor in Qingdao
表 3. 青岛市各评价因子分级占比

生态因子	不敏感(1) 占比/%	轻度敏感(3) 占比/%	中度敏感(5) 占比/%	高度敏感(7) 占比/%	极度敏感(9) 占比/%
高程	73.95	16.40	7.79	1.44	0.42
坡度	66.00	22.35	9.15	1.90	0.60
水域缓冲区	56.51	14.52	16.51	9.21	3.25
植被覆盖度	24.46	1.43	11.12	43.45	19.54
土地利用类型	27.44	65.89	0.19	4.53	1.95

3.2. 多因子生态敏感性综合分析

3.2.1. 生态敏感性分级

基于对各评价单因子权重的分析和空间分布数据的统计，运用 ArcGIS 10.6 软件中的栅格计算器工具，对单因子敏感性分级图及其对应的权重值进行了加权计算处理，即： $S_i = \text{“高程”} * 0.0343 + \text{“坡度”} * 0.0665 + \text{“水域缓冲区”} * 0.1187 + \text{“土地利用类型”} * 0.1930 + \text{“植被覆盖度”} * 0.5876$ ，计算出研究区域的生态敏感性综合指数值在 1.0001~4.7732 之间变化，参照生态敏感性评价标准对生态敏感性图进行重新分类，取 1.0001~2.3477、2.3477~2.8494、2.8494~3.3370、3.3370~3.7874、3.3874~4.7732 为敏感性综合评价值的分级区间，划分为不敏感、轻度敏感、中度敏感、高度敏感、极度敏感 5 个不同的敏感区等级，并且对所得生态敏感性区域具体面积及所占百分比进行分类统计(表 4)，最后得到研究区综合生态敏感性分布图(图 7)。

3.2.2. 生态敏感性分析评价

综合表 4 和图 7，青岛市区内不敏感、轻度敏感、中度敏感、高度敏感和极度敏感 5 个不同的敏感区占比分别为 9.34%、12.03%、46.48%、23.71%、8.43%。从图 7 可以看出，中度敏感区域占比最大；极度敏感区域和高度敏感区域主要分布在崂山区的大部分地区、平度市的西部和北部、黄岛区和即墨区分布分散但占比较多；轻度敏感区域和不敏感区域主要集中在环胶州湾海域的几个区域，李沧区、市南区、市北区、城阳区和黄岛区的东北部。总体来看，青岛市的综合生态敏感性比较高，除环胶州湾的几个区域生态敏感性分布较均匀外，其余区域生态敏感性等级分布较为分散。

Table 4. Statistics of comprehensive evaluation level of ecological sensitivity in Qingdao
表 4. 青岛市生态敏感性综合评价等级统计

等级	赋值	生态敏感性指数	比例(%)
不敏感	1	1.0001~2.3477	9.34
轻度敏感	3	2.3477~2.8494	12.03
中度敏感	5	2.8494~3.3370	46.48
高度敏感	7	3.3370~3.7874	23.71
极度敏感	9	3.3874~4.7732	8.43

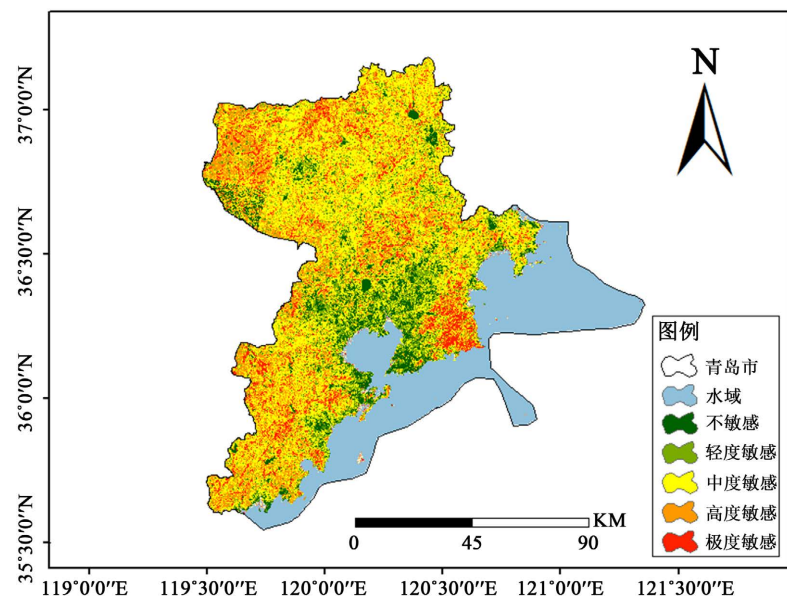


Figure 7. Distribution of comprehensive ecological sensitivity of Qingdao's ecological environment
图 7. 青岛市生态环境综合生态敏感性分布

4. 结论与讨论

本研究聚焦于青岛市生态敏感性的评价，通过综合分析高程、坡度、水域缓冲区、植被覆盖度和土地利用类型这 5 个指标因子，对青岛市的生态敏感性进行了评估。研究结果表明：

1) 生态敏感性分区：根据研究区生态敏感性分析结果，将青岛市市划分为不敏感区、低敏感区、中度敏感区、高度敏感区、极度敏感区，分别占总区域面积的 9.34%、12.03%、46.48%、23.71%和 8.43%；其中，中度敏感区和高度敏感区占据主导地位，合计占比高达 70.19%，表明青岛市的生态环境敏感程度整体较高。

2) 空间分布特征：青岛市生态敏感性的空间分布呈现不均一性。特别是高度敏感区和极度敏感区，主要集中在地势较高、地形复杂、植被覆盖度高的地区，这些区域综合生态环境敏感性较强，需要特别关注。

基于上述研究结论，我们提出以下建议以促进青岛市的生态环境保护和可持续发展：

1) 低敏感区域(李沧区、市南区、市北区、城阳区)：这些区域生态敏感性相对较低，具备较好的生态环境基础，建议继续加强监测与管理，确保生态环境的稳定性和可持续性。同时，在科学规划的基础上，合理开发资源，促进经济社会与生态环境的和谐发展。

2) 高敏感区域(崂山区、平度市、黄岛区、即墨市)：这些区域生态环境敏感性较高，需要特别重视生态环境保护。建议加强土地开发利用管理，严格限制高污染、高能耗产业的发展。同时，加大生态安全监管力度，确保生态环境的稳定性和安全性。

此外，本研究虽取得一定的成果，但仍存在一些不足之处。首先，数据精度对研究结果的影响需要进一步探讨，原始数据分辨率的统一调整为 30 米可能对结果带来一定的不确定性。其次，本研究的判断矩阵赋值参考借鉴他人文章中数据，没有采用更加科学的研究方法如专家评价法进行判断赋值，缺乏一定的科学严谨性；最后，本研究主要关注自然因子对生态敏感性的影响，对人为因素和外部干扰等因子的考虑不足，在今后的研究中，应进一步拓展研究范围，完善指标体系，提高研究的准确性和实用性。

注 释

文中所有图片均为作者自绘。

参考文献

- [1] 鲁敏, 孔亚菲. 生态敏感性评价研究进展[J]. 山东建筑大学学报, 2014, 29(4): 347-352.
- [2] 马庆斌. 全球化背景下的城市发展研究[J]. 云南大学学报(社会科学版), 2004(1): 47-57, 95.
- [3] 李煜, 陈亮明. 基于 GIS 的乡村生态敏感性分析: 以长沙县湘丰村为例[J]. 绿色科技, 2023, 25(14): 89-95, 111.
- [4] 李芳. 浅谈环境保护规划在城市经济发展中的重要性[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2020(20): 18-19.
- [5] 程洁. 济南南部山区生态敏感性评价与生态功能区规划研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东建筑大学, 2019.
- [6] Shi, Y., Li, J. and Xie, M. (2018) Evaluation of the Ecological Sensitivity and Security of Tidal Flats in Shanghai. *Ecological Indicators*, **85**, 729-741. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.033>
- [7] Chen, Y., Zhang, T., Zhou, X., et al. (2023) Ecological Sensitivity and Its Driving Factors in the Area along the Sichuan-Tibet Railway. *Environment, Development and Sustainability*, **26**, 20189-20208.
- [8] Chi, Y., Zhang, Z., Gao, J., Xie, Z., Zhao, M. and Wang, E. (2019) Evaluating Landscape Ecological Sensitivity of an Estuarine Island Based on Landscape Pattern across Temporal and Spatial Scales. *Ecological Indicators*, **101**, 221-237. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.012>
- [9] Peng, T. and Deng, H. (2020) Evaluating Urban Resource and Environment Carrying Capacity by Using an Innovative Indicator System Based on Eco-Civilization—A Case Study of Guiyang. *Environmental Science and Pollution Research*, **28**, 6941-6955. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11020-7>
- [10] 赵迅, 徐艳芳, 王浩天, 等. 基于 GIS 的黔西市生态敏感性评价与分析[J]. 安徽农业科学, 2023, 51(19): 64-68.
- [11] Zhang, Q. and Zhang, T. (2018) Land Consolidation Design Based on an Evaluation of Ecological Sensitivity. *Sustainability*, **10**, Article No. 3736. <https://doi.org/10.3390/su10103736>
- [12] 黄发明, 杨光照, 苏晨旭, 等. 基于 GIS 和层次分析法的县域生态敏感性评价[J]. 南昌大学学报(理科版), 2019, 43(6): 599-605.
- [13] 陈榕榕, 丁铮. 基于 GIS 的泉州市生态敏感性分析[J]. 环境与发展, 2022, 34(4): 100-109+116.
- [14] 何苏玲, 邹凤琼, 王金亮. 基于 AHP 和 MSE 赋权法的龙南县生态敏感性评价[J]. 生态学杂志, 2021, 40(9): 2927-2935.
- [15] 武静, 李梦婷. 基于景观地形的小流域单元减灾调控评价研究[J]. 风景园林, 2020, 27(1): 110-114.
- [16] 刘若琦, 黄志强. 基于 AHP-GIS 的宜春市生态敏感性评价[J]. 地理空间信息, 2024, 22(4): 54-59.