

# 基于生态敏感性的大汶河流域景观规划设计策略研究

李 想, 徐 阳, 徐飞鸿, 崔 曼

山东建筑大学, 建筑城规学院, 山东 济南

收稿日期: 2024年9月29日; 录用日期: 2024年12月10日; 发布日期: 2024年12月17日

## 摘 要

随着“绿水青山就是金山银山”的理念越来越受到广大民众的认可, 有效地探索和实施生态问题的解决方案以及修复措施变得更加重要。为了保护大汶河流域生态, 开展科学的流域生态保护, 对大汶河流域开展生态敏感性评价十分重要。选取高程、坡度、地形起伏度、植被覆盖度、水体缓冲区等八个评价因子构建指标评价体系, 利用GIS, 自然断点法, 层次分析法等方法将流域敏感性划分为五个等级, 对大汶河流域生态环境进行生态敏感性评价, 进一步明晰核心保护区的红线边界, 有利于大汶河流域后续的景观规划设计与未来的可持续发展。

## 关键词

生态敏感性评价, 大汶河流域, 景观设计, GIS, 生态保护

## Research on Landscape Planning and Design Strategy of Dawenhe River Basin Based on Ecological Sensitivity

Xiang Li, Yang Xu, Feihong Xu, Man Cui

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

Received: Sep. 29<sup>th</sup>, 2024; accepted: Dec. 10<sup>th</sup>, 2024; published: Dec. 17<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

With the increasing recognition of the concept that “green mountains and clear waters are mountains of gold and silver” by the general public, it has become more important to effectively explore and implement solutions and restoration measures for ecological problems. In order to protect the ecology of the Dawen River Basin and carry out scientific ecological protection, it is very important

to conduct ecological sensitivity evaluation of the Dawen River Basin. Eight evaluation factors, including elevation, slope, terrain undulation, vegetation coverage, and water buffer zone are selected to construct an indicator evaluation system. The sensitivity of the watershed is divided into five levels using methods such as GIS, natural breakpoint method, and analytic hierarchy process. Ecological sensitivity evaluation is conducted on the ecological environment of the Dawen River Basin, providing scientific guidance and theoretical basis for subsequent ecological protection of the Dawen River Basin.

## Keywords

Ecological Sensitivity Assessment, Dawen River Basin, Landscape Design, GIS, Ecological 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

随着“绿水青山就是金山银山”的理念越来越受到广大民众的认可[1]，有效地探索和实施生态问题的解决方案以及修复措施、对河流流域景观进行合理的规划设计，为保护大汶河流域生态，开展科学的流域生态保护，对大汶河流域开展生态敏感性评价十分重要[2][3]，同时也是衡量区域生态环境稳定性的有效手段，对大汶河流域的生态敏感性评价对于区域协调发展和生态建设、科学地确定生态用地规模和布局，合理利用土地资源具有重要意义，同时，也可以为大汶河流域景观规划设计提供科学的理论指导。

## 2. 相关概念及研究方法

### 2.1. 生态敏感性

生态敏感性是指在特定的环境条件下，环境变化对生态系统及其组成部分所产生的影响程度[4]。自20世纪80年代以来，生态敏感性的概念已在国际生态学界引起了广泛的关注和研究[5]，近年来，生态敏感性评价逐渐成为国内外学者研究热点生态敏感性是一个重要的指标[6]。生态敏感性评价是一种有效的手段，对于区域协调发展和生态建设、科学地确定生态用地规模和布局，合理利用土地资源具有重要意义，同时，也可以为土地资源科学合理利用和社会经济可持续发展提供科学的理论指导。然而，以往的研究中，由于“社会-经济-生态”耦合系统的影响因素复杂、系统性生态评价工作量巨大、生态脆弱性评价理论方法过于简单粗糙以及存在冗长的错误，仅仅依靠数据统计和数值增减分析的方法已经无法满足新时代的要求[7]。在21世纪，电子信息技术和遥感-地理信息系统的发展为我们提供了新的研究手段。基于生态系统理论，我们建立了一个科学的生态敏感性与恢复力评估体系，其中包括识别重要指标，明确主流评估研究方法的原理，完成生态敏感性评估，确定脆弱生态功能区域，并提出修复和治理的对策建议，这对于实现我国的生态保护和高质量发展，促进社会经济的可持续发展具有重要意义[8]。

### 2.2. 研究方法

#### 2.2.1. 熵值法

熵值法是一种客观的赋值方法，它通过测量数据中信息的大小来决定指标的权重。熵值可以用来衡量不确定性，如果熵值较小，则表明数据中包含的信息量较多，因此权重也会更高；相反，如果熵值较

大, 则表明信息量较少, 因此权重也会较低。在进行指标评价的过程中, 可以利用熵值法根据各指标值的变异程度来衡量信息量的大小, 进而确定各项指标的权重。

### 2.2.2. 层次分析法

美国著名的运筹学家 A.L.Saaty 首先提出了如今广泛使用的层次分析法(AHP), 它具有高效地解决复杂因子在排序上的独特能力。因此, 在处理较为复杂的综合评价系统时, 可以运用层次分析法, 将定性分析与定量比较有机结合起来, 以更加准确地对评价对象进行比较与评价(见表 1)。

**Table 1.** Matrix values and their meanings [7]

**表 1.** 矩阵标值及其含义[7]

标度 $r_y$	标度定义
1	指标 $r_i$ 与指标 $r_j$ 同等重要
3	指标 $r_i$ 比指标 $r_j$ 略显重要, 反之为 1/3
5	指标 $r_i$ 比指标 $r_j$ 明显重要, 反之为 1/5
7	指标 $r_i$ 比指标 $r_j$ 特别重要, 反之为 1/7
9	指标 $r_i$ 比指标 $r_j$ 极其重要, 反之为 1/9
2, 4, 6, 8	指标 $r_i$ 与指标 $r_j$ 相比, 介于上述指标之间

层次分析法是一种将研究对象分解为多个层次并按照从上到下的顺序排列的方法, 以便分析问题的结构。该方法有助于降低传统定权的主观性偏差, 能以科学的方式确定权重, 并能合理地计算综合指数, 准确地反映不同因素的影响程度。然而, 值得关注的是, 这种方法的应用存在一定的局限性, 例如其对研究数据范围的限制。此外, 评价结果也会受到构造的判断矩阵的影响, 在矩阵规模较大(例如九级矩阵)的情况下, 指标值的影响可能会被削弱, 因此在使用层次分析法时需要特别谨慎。

## 3. 研究区概况

大汶河(36°35'48"N~35°42'50"N, 118°00'40"E~116°02'35"E)又名汶水, 简称汶河, 流域面积 9069 平方公里, 分布标高 23~1524 m, 全长 208 km(见图 1)。大汶河是黄河下游最大的一条支流, 大汶口流域形如扇。东部属鲁中山区, 两个是沿黄湖洼, 汶水西流是其特有地形。大汶河至戴村坝为中游称大汶河。戴村坝以下为下游, 名为大清河。大汶河主流起源于沂源县松固山南麓的沙崖子村, 迂回西流, 流经东平县、平阴县、肥城市等 13 个县区, 由东平县马口注入东平湖, 再由东平湖清河门出湖闸泄入黄河。

## 4. 数据来源及研究方法

### 4.1. 数据来源及处理

该研究所采用的遥感卫星影像图和 DEM 数字高程模型数据均来自地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>), 其中遥感影像数据为分辨率 30 m 的 Landsat 8 影像, 通过 ArcGIS 10.8 软件计算并提取得到高程、坡度、水域缓冲区、地形起伏度等数据。植物覆盖率数据采用 ENVI 5.3 软件进行数据预处理之后, 通过计算 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[9]。土地利用类型数据从全球地表覆盖平台获得(<http://globeland30.org>), 并采用 ArcGIS 10.8 软件进行裁剪分类, 得到研究区域的土地利用类型图。世界土壤数据库(HWSD)土壤数据集(v1.2), 通过土壤空间位置和属性(沙子、淤泥、粘土和有机碳的百分比体积)的数据, 计算得到土壤侵蚀性。

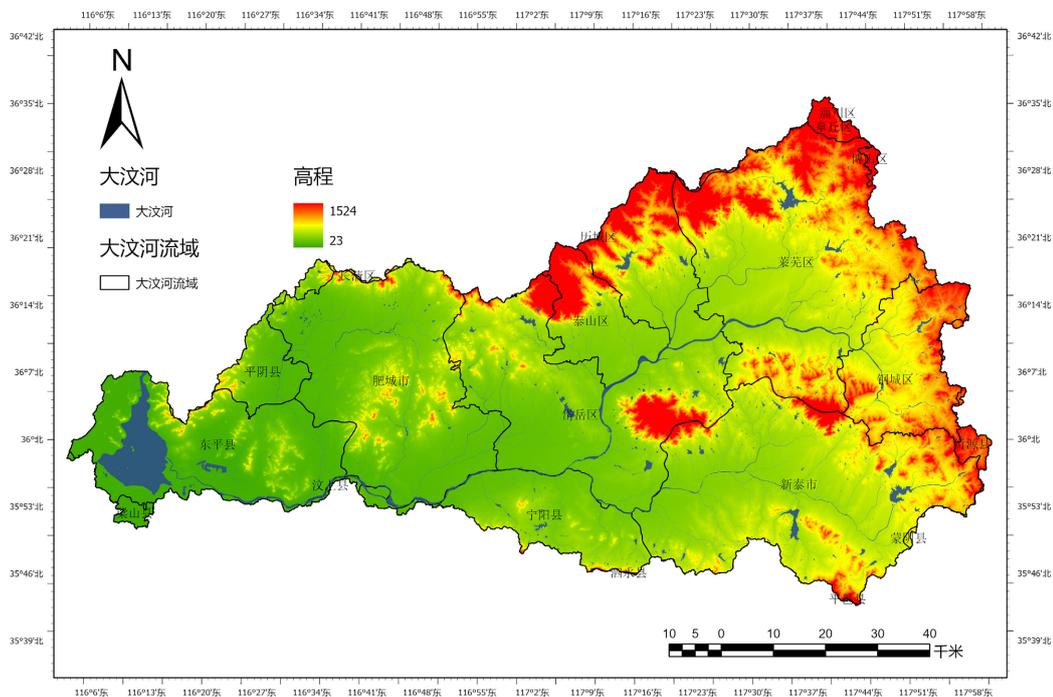


Figure 1. Elevation distribution map of Dawenhe River Basin

图 1. 大汶河流域高程分布图

## 4.2. 评价方法

生态敏感性通常是由多个影响因子共同反应的，选取能反应流域生态环境问题的多个因子，构建单因子评价指标，利用 GIS 自然断点法进行重分类赋值，从而进行单因子敏感性评价；通过层次分析法确定权重以及加权计算，从而对大汶河流域生态敏感性进行综合评价[10]。

## 4.3. 构建评价指标体系

指标选取遵循科学性[11]、有效性、可操作性[9]、普适性、针对性[12]、精简性原则，构建合理的指标评价体系。根据已有的相关研究成果，结合大汶河流域的相关地理现状及自然生态环境，最终选取高程、坡度、土地覆盖类型、植被覆盖度、地形起伏度、水域缓冲区、土壤侵蚀力、降水侵蚀力 8 个单因子评价指标，结合大汶河流域现状特点[13]，将生态敏感性等级划分为非敏感、低敏感、敏感、高敏感、极高敏感 5 个等级，并利用 GIS 重分类分别赋值 1, 3, 5, 7, 9，各评价因子划分标准及赋值如表 2 所示。

Table 2. Grading and scoring standards for each factor

表 2. 各因子分级及赋值标准

生态敏感性指标	分级条件	敏感性等级	赋值
高程/m	<131	非敏感	1
	131~235	低敏感	3
	235~378	中敏感	5
	378~599	高敏感	7
	>599	极高敏感	9

续表

坡度/(°)	<3	非敏感	1
	3~9	低敏感	3
	9~16	中敏感	5
	16~25	高敏感	7
	>25	极高敏感	9
地形起伏度/m	<2.3	非敏感	1
	2.3~7.0	低敏感	3
	7.0~13.3	中敏感	5
	13.3~21.2	高敏感	7
	>21.2	极高敏感	9
土壤侵蚀	<0.001	非敏感	1
	0.001~0.034	低敏感	3
	0.034~0.036	中敏感	5
	0.036~0.038	高敏感	7
	>0.038	极高敏感	9
土地覆盖	水域	非敏感	1
	林地	低敏感	3
	草地	中敏感	5
	耕地	高敏感	7
	建设用地、未利用土地	极高敏感	9
水体缓冲	水体区域 200 m 内	非敏感	1
	水体区域 200~500 m	低敏感	3
	水体区域 500~800 m	中敏感	5
	水体区域 800~1500 m	高敏感	7
	水体区域>1500 m	极高敏感	9
降雨侵蚀力/(MJ·mm·hm <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> ·a <sup>-1</sup> )	<2186	非敏感	1
	2186~2391	低敏感	3
	2391~2548	中敏感	5
	2548~2701	高敏感	7
	>2701	极高敏感	9

续表

	<0.27	非敏感	1
	0.27~0.64	低敏感	3
植被覆盖度	0.64~0.81	中敏感	5
	0.81~0.94	高敏感	7
	0.94~1.0	极高敏感	9

#### 4.4. 评价因子权重确定

参考相关文献资料, 经过专家咨询, 通过层次分析法对各单因子进行权重判断, 制定各指标因子权重[14], 如表 3 所示。

**Table 3.** The weight of each indicator factor

**表 3.** 各指标因子权重

生态敏感性指标	权重
高程	0.02
坡度	0.055
地形起伏度	0.062
土壤侵蚀	0.111
土地覆盖	0.2
水体缓冲	0.151
降雨侵蚀力	0.104
植被覆盖度	0.297

## 5. 结果与分析

### 5.1. 单因子生态敏感性评价与分析

#### 5.1.1. 高程生态敏感性评价

高程可以反应研究区的地形, 通常来说, 海拔越高, 生态环境越脆弱, 生态敏感性就越高[15]。通过地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)下载得到研究区 dem 数据, 由 GIS 处理得到高程数据, 并进行重分类赋值划分为五个等级。大汶河流域整体地势西南低, 东北高, 海拔最高处 1524 m, 最低处 24 m。由图 2 可知, 大汶河流域低敏感地区占比最大, 占总面的 37%, 其次是非敏感区, 占总面积的 33%, 主要分布在流域的西南地区; 占比最小的是极高敏感区, 仅占总面积的 2%, 主要分布在流域的北部地区, 也主要分布在泰山山脉所在地区。总体来说, 大汶河流域整体高程生态敏感性较低。

#### 5.1.2. 坡度生态敏感性评价

坡度是造成水土流失的重要因素之一, 坡度越陡, 土壤稳定性就会越低, 进而生态系统稳定性就会越低, 生态敏感程度就越高[16]。通过 GIS 进行坡度分析, 利用自然断点法分类并进行重分类赋值, 将坡度敏感度划分为五个等级, 得到评价结果如图 3 所示。由计算结果可知, 大汶河流域西南中部地势较低,

坡度也较为平缓，非敏感区域占总面积比例最大，约为 54%；其次是低敏感区，占比 25%；然后依次是敏感区和高敏感区，占比分别为 10%和 7%，主要位于大汶河流域东北部地区；占比最低的是极高敏感区，仅占总面积的 4%，主要位于场地北部泰山山脉以及中部肥城市山区。

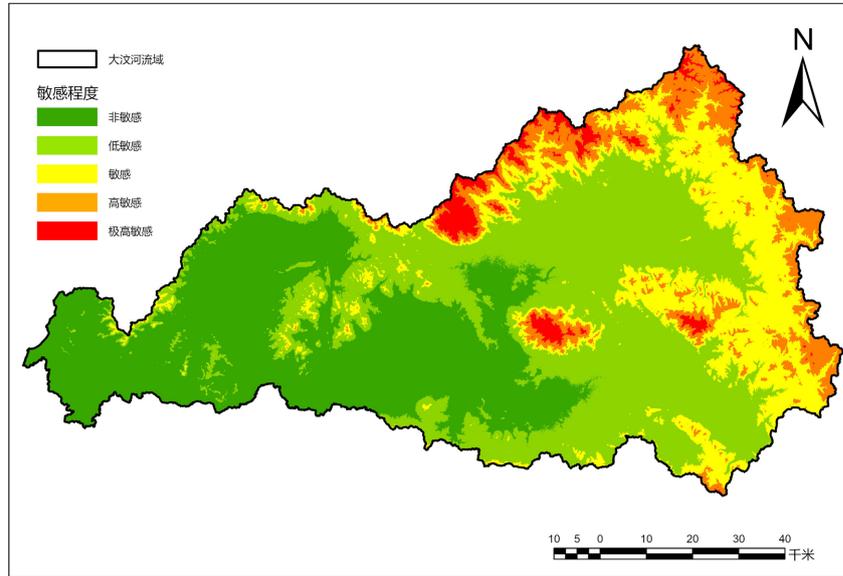


Figure 2. Elevation ecological sensitivity evaluation results  
图 2. 大汶河流域高程分布图

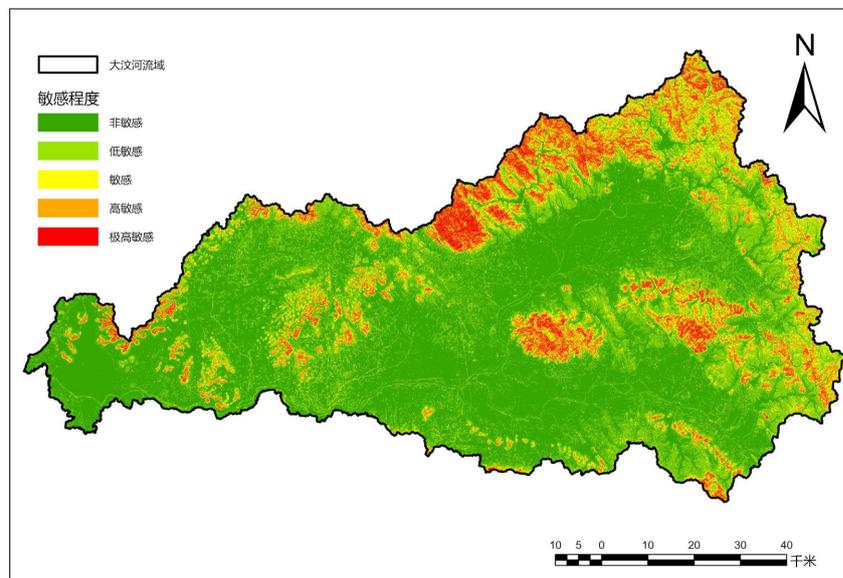


Figure 3. Evaluation results of slope ecological sensitivity  
图 3. 坡度生态敏感性评价结果

### 5.1.3. 地形起伏度生态敏感性评价

地形起伏度  $LS$  是评估生态环境状况和水土流失的关键环境因素之一，能够量化地形对水流侵蚀的影响。地形起伏度是通过坡长因子  $L$  与坡度因子  $S$  的乘积得出的。坡长因子  $L$  表示山坡的长度，坡度因

子  $S$  表示山坡的坡度。这两个因子的值越高，就代表着地形起伏度越大，水流侵蚀力也就越强，生态敏感性也就越高。利用大汶河流域高程数据，通过 GIS 中的焦点统计工具，计算得出了地形起伏度，并进行重分类赋值，从将其敏感性划分为五个等级，得到地形起伏度敏感性如图 4 所示。由评价结果可知，非敏感区占比最大，主要分布在西南中部，约占总面积的 71%；然后依次是低敏感区和敏感区，分别占比 12%、8%；占比最低的极高敏感区，占比 2%，主要分布在北部山区。

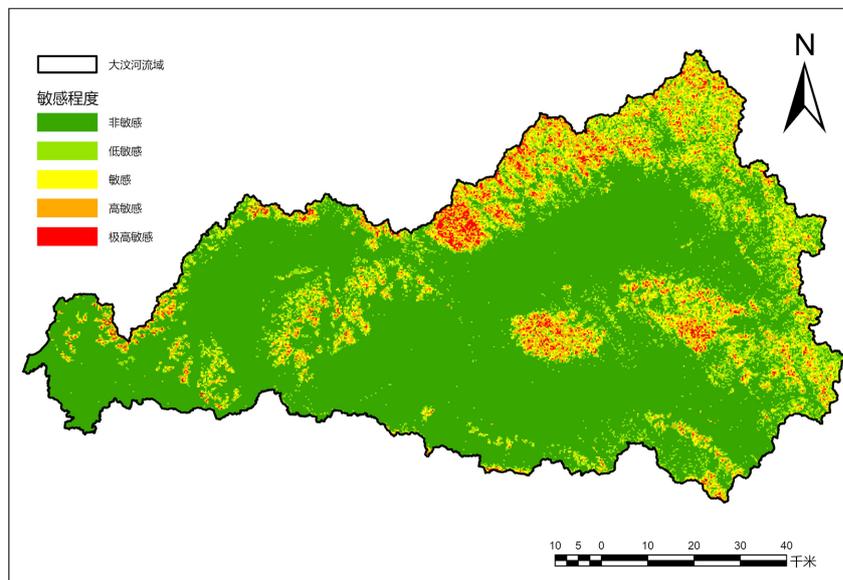


Figure 4. Assessment results of ecological sensitivity of relief degree

图 4. 地形起伏度生态敏感性评价结果

#### 5.1.4. 植被覆盖度生态敏感性评价

植被覆盖度是衡量生态系统健康状况和生态环境质量的重要指标，是指植被覆盖在地表的比例。植被覆盖度高的区域，植物生长状态状况更为良好[17]，生态系统更为健康，因而整体生态状况较为敏感。将遥感影像数据进行 ENVI 处理后，得到植被覆盖度分布情况，通过 GIS 进行重分类分级，得到植被覆盖度生态敏感性评价结果如图 5 所示。由计算结果可见，大汶河流域整体植被覆盖率较高，极高敏感区占总面积的 68%；其他依次是高敏感区和敏感区，占比分别为 16%、8%；占比最少的是非敏感区和低敏感区，占比为 4%，主要分布在水体区域以及城镇建设区。

#### 5.1.5. 水域缓冲区生态敏感性评价

水体区域是流域生态环境的重要组成部分，通常来说，距离水体中心越近的区域，生态环境较好，生物多样性越高，生态敏感性相对就越高；相反，距水体越远，生态环境质量相对较差，生态系统敏感性也较低。以距水体距离为标准，分别选取 200 m，500 m，800 m，1500 m 为标准，利用 GIS 计算出河流流向，利多环缓冲区工具划分出距水体中心距离不同的五个区域，然后重分类赋值得出水域缓冲区生态敏感性评价结果，如图 6 所示。由计算结果可知，非敏感区占比最大，占总面积的 28%，然后依次是低敏感区，极高敏感区，敏感区，高敏感区，分别占比 27%、17%、16%、15%。

#### 5.1.6. 土地覆盖生态敏感性评价

人类的生产生活活动是对生态环境产生影响的主要因素之一，它不仅会影响土地利用类型的改变，还会对区域生态环境产生影响。如果一个地区人类活动密集，那么这个地区的人类活动强度就会比较大，蓝

绿空间占比较小，生态环境也较为脆弱，相对来说，生态敏感性也会越高。然而，在远离人群的地方，生态系统生物多样性更加复杂，生态环境质量也更好更稳定，因此生态敏感性较低。因此，研究土地利用类型对生产生活干扰敏感性的分布情况非常重要，这将有助于我们更好地理解人类活动对生态环境的影响，以及如何更好地保护和利用自然资源。利用大汶河流域土地利用类型不同，划分出水域、林地、草地、耕地、建设用地和未利用地，分别对应非敏感区、低敏感区、敏感区、高敏感区、极高敏感区，得到土地覆盖生态敏感性评价结果如图7所示。由评价结果可知，高敏感区域占比最大，约占总面积的58%，主要分布在耕地区域；然后依次是极高敏感区、低敏感区、敏感区、非敏感区，占比分别是17%、11%、9%、5%。

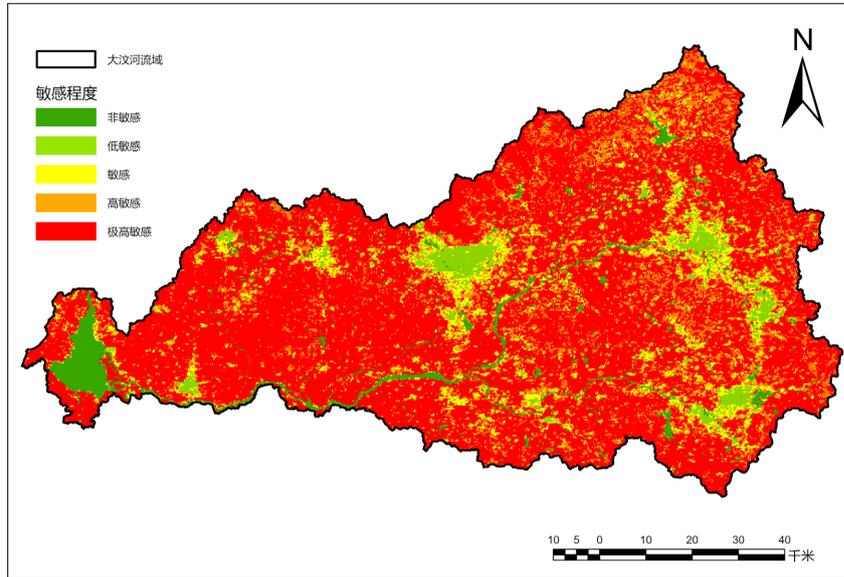


Figure 5. Evaluation results of ecological sensitivity of vegetation coverage  
图5. 植被覆盖度生态敏感性评价结果

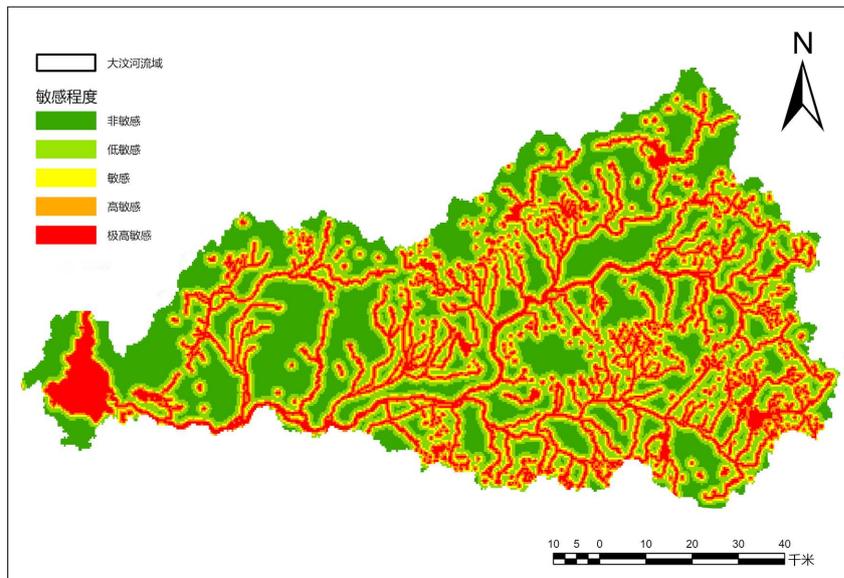


Figure 6. Ecological sensitivity evaluation results of water buffer zone  
图6. 水域缓冲区生态敏感性评价结果

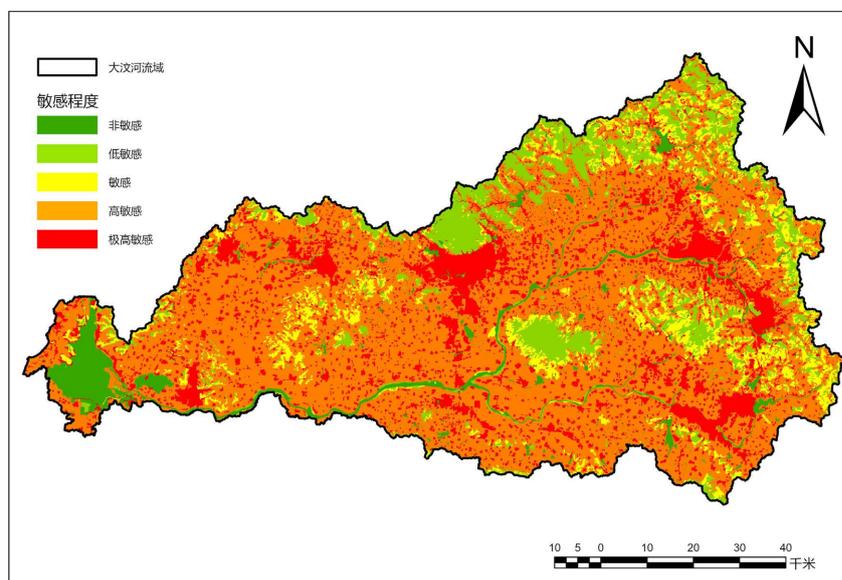


Figure 7. Evaluation results of ecological sensitivity of land cover  
图 7. 土地覆盖生态敏感性评价结果

#### 5.1.7. 土壤侵蚀力生态敏感性评价

土壤侵蚀作用将引发土地资源退化，土地被破坏，河床抬升，洪涝灾害，也是水土流失的主要因素之一，对区域生态系统的稳定性将构成较强威胁。土壤侵蚀度主要反映土壤质地、有机质含量、土壤结构、土壤渗透性等方面的信息，对于预测和防治水土流失具有重要意义。通过计算土壤可蚀性  $K$  因子，得到大汶河流域土壤侵蚀力评价结果如图 8 所示。由计算结果可知，占比最高的是敏感区，约占总面积的 38%；占比最低的是非敏感区，占比仅为 2%，主要位于水体区域，然后是极高敏感区，占比约为 6%，主要分布在东平湖周围。

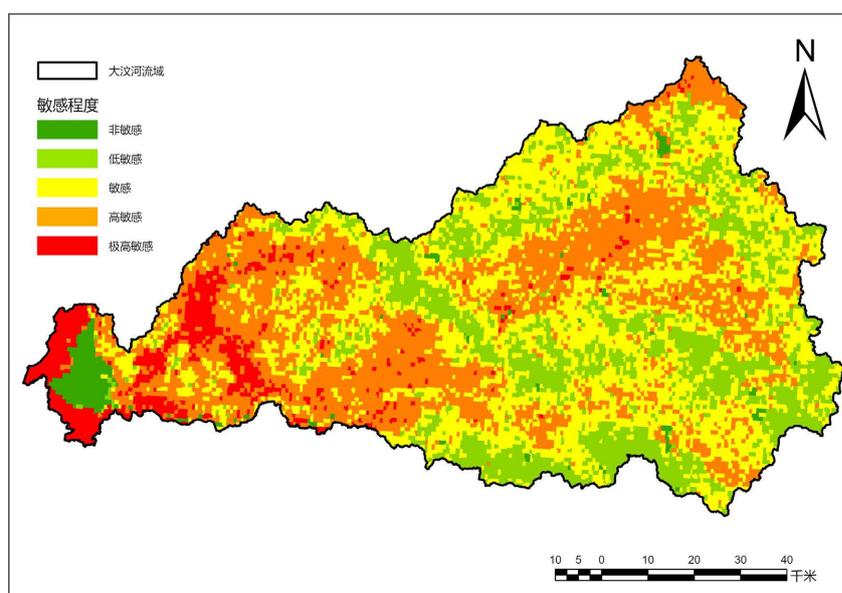


Figure 8. Evaluation results of ecological sensitivity of soil erosion degree  
图 8. 土壤侵蚀度生态敏感性评价结果

### 5.1.8. 降水侵蚀力生态敏感性评价

降水侵蚀力与水土流失关系密切，它能直观反映降水量对水土流失的影响，因此研究降水侵蚀力在生态敏感性评价中显得尤为重要。降水侵蚀力越强，发生水土流失的可能性就越大，生态敏感性也会越高。计算降水侵蚀力  $R$  值，利用 GIS 重分类分级，得到降水侵蚀力生态敏感性评价结果如图 9 所示。由计算结果可知，降水侵蚀力分布由大汶河流域中部向外环形扩散分布，依次是极高敏感性、高敏感区、敏感区、低敏感区、非敏感区。其中占比最大的是高敏感区。

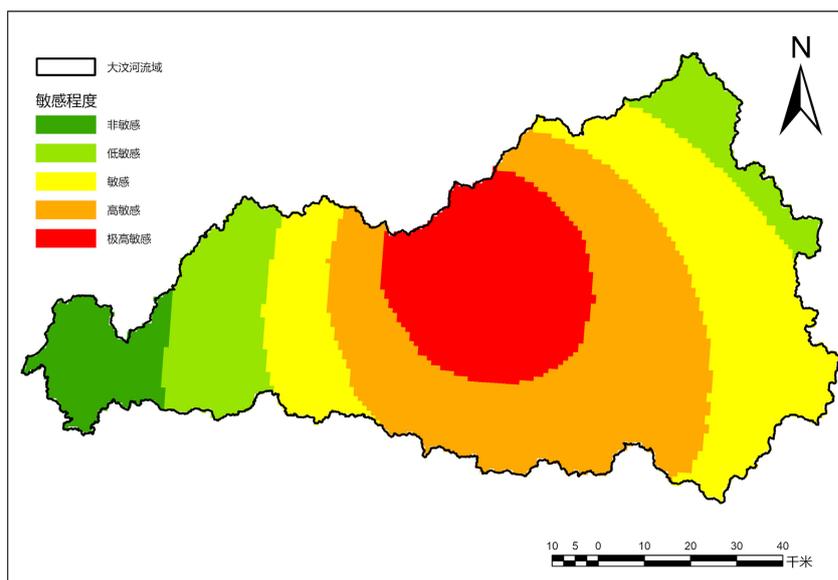


Figure 9. Evaluation results of ecological sensitivity to precipitation erosivity  
图 9. 降水侵蚀力生态敏感性评价结果

### 5.2. 多因子生态敏感性综合评价与分析

通过 GIS 栅格计算器计算获得生态敏感性指数，通过自然断点法和重分类工具划分为五个敏感性评价等级，得到生态敏感性评价结果如图 10 所示，综合评价指数范围为 1~8.9 之间，平均值为 5.42，整体生态敏感性适中，统计分布结果如表 4 所示。大汶河流域非敏感区(敏感指数 1.85~3.78)占比最少，为 3.2%，其多为水体以及水体周边区域；低敏感区(敏感指数 3.78~5.27)，占比 10.7%，主要分布在流域内林地，以及河流流域周边；中敏感区(敏感指数 5.27~6.03)、高敏感区(6.03~6.70)，都占总面积的 33.1%，其中高敏感区主要集中分布在流域的北部中部，主要聚集在山体高海拔区域，中敏感区主要分布在人类建设用地周边，这部分区域起到对极高敏感区域缓冲和一定的保护的作用，应重点增加植被覆盖和控制水土流失，逐步修复受到损害的生态环境。

### 5.3. 各级敏感区保护设计措施

对极高敏感区打保护措施应该严格保护区内的动植物和特有的珍稀动植物物种，不能随意进行人为的景观规划设计建造；控制游客数量，控制极高敏感区居住人口规模和城市建设规模，必要时进行人口外迁以保护环境；对景区内环境、动植物进行科学严格保护和监测、研究。对高敏感区和敏感区进行合理的保护和适当的方法进行保护。作为过度区域，可以进行一定的规划设计，进行游览设施、基础工程设施的建设，但规划设计和景区管理要与自然保护方向一致，不得过分开发破坏原有景观环境。对于低

敏感区和非敏感区的规划设计可以进行科学合理的开发与建设但详细的设计要符合总体规划，建设风貌景观要与当地景观风格相协调。

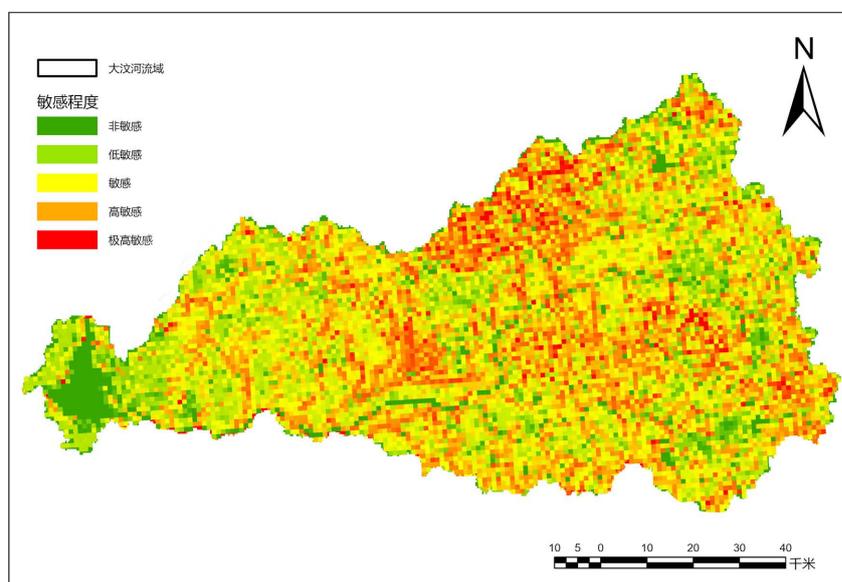


Figure 10. Results of ecological sensitivity assessment  
图 10. 生态敏感性评价结果

Table 4. Classification statistics of ecological sensitivity evaluation  
表 4. 生态敏感性评价分级统计

生态敏感性	赋值	生态敏感性评价指标	占比/%
非敏感	1	1.85~3.78	3.2
低敏感	3	3.78~5.27	10.7
敏感	5	5.27~6.03	33.1
高敏感	7	6.03~6.70	33.1
极高敏感	9	6.702~8.99	19.9

## 6. 结论

本文利用 GIS 技术，对大汶河流域生态环境进行综合评价，得到大汶河流域生态敏感性评价结果，利用结果为以后的流域生态改善，景观规划设计进行科学理论指导。大汶河流域生态敏感性整体适中，但敏感性、高敏感性整体偏高，生态环境容易受到破坏。非敏感区和低敏感区主要为水体区域，以及水体周边，林地覆盖区，这类地区整体生态环境质量好，生态系统结构也较为稳定，针对这一区域应该重点保护，同时可以进行流域景观规划设计；敏感区和高敏感区占比最大。这类区域主要为人类活动建设用地以及耕地、草地为主，多分布在平坦以及低丘陵地区，对待这一区域，应以修复保护为主，对生态损毁地进行生态修复保护，对人类建设用地进行绿地更新改造，增加绿地面积，加强生态环境；极高敏感区占比约为 20%，主要为高海拔区域，这类区域环境较为恶劣，生态环境整体较为脆弱，如遭到破坏，更不容易修复，不得进行任何的开发建设活动。

## 注 释

文中所有图表均为作者自绘。

## 参考文献

- [1] 王培. 涪江中上游土地利用动态变化与生态敏感性研究[D]: [硕士学位论文]. 绵阳: 西南科技大学, 2023.
- [2] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究[J]. 生态学报, 2000(1): 10-13.
- [3] 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(4): 73-77.
- [4] Nriagu, J.O. and Harvey, H.H. (1978) Isotopic Variation as an Index of Sulphur Pollution in Lakes around Sudbury, Ontario. *Nature*, **273**, 223-224. <https://doi.org/10.1038/273223a0>
- [5] Vanclay, J.K. (1991) Ecological Sensitivity of Australian Rainforests to Selective Logging. *Australian Journal of Ecology*, **16**, 541-542. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1991.tb01084.x>
- [6] 尤南山, 蒙古军. 基于生态敏感性和生态系统服务的黑河中游生态功能区划与生态系统管理[J]. 中国沙漠, 2017, 37(1): 186-197.
- [7] 崔斌凯. 基于熵值法和层次分析法的平凉市生态敏感性与恢复力分析[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2023.
- [8] Horne, R. and Hickey, J. (1991) Ecological Sensitivity of Australian Rainforests to Selective Logging. *Australian Journal of Ecology*, **16**, 119-129. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1991.tb01487.x>
- [9] 王婧妍, 杨崇武, 赵晖, 等. 基于 GIS 的金庭镇生态敏感性评价[J]. 湿地科学与管理, 2023, 19(6): 20-24.
- [10] 宋沛林, 陈默, 吕金鑫, 等. 基于 GIS 的南渡江流域生态敏感性评价[J]. 水利规划与设计, 2023(1): 96-100.
- [11] 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.
- [12] 李丽娜. 上海生态敏感度评价研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2005.
- [13] 陈昕. 基于主成分分析的资源节约评价指标体系及应用[J]. 资源与产业, 2010, 12(6): 38-43.
- [14] 薛世钦, 李妮, 卢元杰. 一种基于关联分析的指标体系冗余分析方法[C]//中国仿真学会. 2020 中国仿真大会论文集, 2020: 6. <https://doi.org/10.26914/c.cnkihy.2020.016953>
- [15] 董晓媛, 胥德泽, 施小斌, 等. 黄河流域甘肃段生态敏感性评价研究——以广河县为例[J/OL]. 干旱区地理: 1-14. <https://kns-cnki-net.webvpn.ahjzu.edu.cn/kcms/detail/65.1103.X.20231114.1724.001.html>, 2024-02-19.
- [16] 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.
- [17] 赵舒怡, 官兆宁, 刘旭颖. 2001-2013 年华北地区植被覆盖度与干旱条件的相关分析[J]. 地理学报, 2015(5): 717-729.