

黄河流域白银段生态空间规划设计研究

——基于GIS的生态敏感性评价与分析

刘大亮, 张园芳

山东建筑大学艺术学院, 山东 济南

收稿日期: 2024年11月4日; 录用日期: 2024年12月21日; 发布日期: 2024年12月30日

摘要

近年来, 由于对生态保护力度的不断加强, 经济快速发展带来的生态问题也不断显现。黄河流域白银段在人为和自然的双重作用下, 导致该流域产生一系列的生态问题。基于黄河流域生态文明建设的背景下, 对黄河流域白银段进行生态敏感性的评价与分析, 其评价结果对于黄河流域白银段的生态环境保护治理以及资源开发提供相关借鉴。本研究以白银市为研究区域, 分别从水土流失、生态环境质量、地质情况、水资源4个层面选取了土地利用类型、植被覆盖度、高程、坡度、坡向、距水系距离6个敏感性评价因子, 结合地理信息系统(ArcGIS)和参考相关文献的层次分析法(AHP)探讨本研究区域生态敏感性的级别及时空分布特征。

关键词

地理信息系统(ArcGIS), 生态敏感性, 空间分析, 黄河流域白银段

Research on Ecological Space Planning and Design of the Baiyin Section of the Yellow River Basin

—GIS-Based Ecological Sensitivity Evaluation and Analysis

Daliang Liu, Yuanfang Zhang

School of Arts, Shandong Jianzhu University, Jinan Shandong

Received: Nov. 4th, 2024; accepted: Dec. 21st, 2024; published: Dec. 30th, 2024

Abstract

In recent years, due to the continuous strengthening of ecological protection, the ecological problems brought about by rapid economic development have also emerged. The Baiyin section of the

Yellow River Basin has been affected by both man-made and natural factors, resulting in a series of ecological problems in the basin. Based on the background of ecological civilization construction in the Yellow River Basin, the ecological sensitivity of the Baiyin Section of the Yellow River Basin is evaluated and analyzed, and the evaluation results provide relevant reference for the ecological environmental protection and resource development of the Baiyin Section of the Yellow River Basin. In this study, six sensitivity evaluation factors were selected from four levels: soil erosion, ecological environment quality, geological conditions, and water resources, including land use type, vegetation coverage, elevation, slope aspect, slope aspect, and distance from the water system, and the level and spatiotemporal distribution characteristics of ecological sensitivity in the study area were discussed by combining geographic information system (ArcGIS) and analytic hierarchy process (AHP) with reference to relevant literature.

Keywords

Geographic Information System (ArcGIS), Ecological Sensitivity, Spatial Analysis, Baiyin Section of the Yellow River Basin

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

党和国家把生态文明建设摆在了重要战略地位,《国家“十四五”生态环境保护规划》指出要坚持绿色发展理念,自觉把经济社会发展同生态文明建设统筹起来,努力实现环境效益、经济效益和社会效益多赢[1]。黄河流域作为我国北方地区重要的生态屏障,地处生态安全的关键区域[2],流域内资源与环境的可持续发展一直是人们关注的焦点[3]。长期以来,随着人口的增长、经济的快速发展以及城市化进程的推进,黄河流域的生态系统承受了前所未有的压力。植被的严重破坏、水土流失的加剧、土地沙化现象的蔓延,以及水源涵养功能的显著减退,都是这一地区面临的严峻生态问题[4]。如今,我国在全面深化改革的同时更加注重人与自然的全面协调可持续发展,积极推进生态结构绿色转型,国家对生态环境保护的投入和治理力度不断加大[5][6],黄河流域的生态保护与高质量发展已提升至国家战略层面,其中,生态优先、绿色发展、因地制宜、分类施策被确立为不可或缺的基本原则。鉴于黄河流域独特的空间位置和地理特性,它既是经济发展的重要引擎,又是关键的生态安全屏障。因此,保护其生态环境的重要性不言而喻,这是我们必须全力以赴的紧迫任务[7]。随着资源消耗增多、环境污染加重和生态系统退化等一系列问题出现,加强生态文明建设,实现区域绿色发展已成为一项重要举措,也是中华民族永续发展的千年大计[8]。

生态敏感性的评价方法是由麦克哈格于 1960 年提出,为研究区域的生态性相关问题提供新的参考于方法。

生态敏感性可以被理解为生态系统在面对外界各种扰动时,所展现出的敏感程度及其内在的自愈和适应机制[9],一般而言,生态敏感性高的区域往往意味着其生态系统较为脆弱。这样的地区在受到外界环境因素的干扰时,反应会更加显著,从而更容易产生一系列的生态问题[10][11]。学者们整合了包括水文数据和归一化植被指数(NDVI)在内的多种因素,通过综合叠加分析技术,明确了敏感性分级体系,以便更深入地探究研究区域。这一评估分析方法有助于合理划分保护区域与开发区域[12]。它能够准确地体现研究区域自然环境的优劣、土地利用的现状、人口承载能力及该区域未来的发展趋势。目前,生态敏感性评价

已被诸多领域广泛采纳, 涵盖城市规划、土壤风险评价、生态保护、居民生活质量保障以及旅游景区规划评估等方面。尽管研究多集中在国家、省市等宏观尺度上, 但在县级及以下微观尺度的研究尚显不足[13]。

白银市隶属于甘肃省, 是黄河在甘肃省内的最后一段流经的城市, 该区域的生态敏感程度以及脆弱程度较为强烈, 生态环境易受人群活动的影响, 生态问题日益突出, 生态环境愈加严峻。在加强黄河流域生态文明建设的国家战略背景下, 清晰了解发现研究区域发展所存在的生态环境问题, 并采取相应的治理策略来促进黄河流域白银段的环境可持续性发展。鉴于以上, 本研究以白银市为研究区域采用 4 个层次 6 个指标因子, 对 6 个因子进行生态敏感性分析, 通过参考相关文献中的 AHP 方法对各个因子进行赋值获取相应权重, 最后获得黄河流域白银段的整体生态敏感性评价, 为白银段的生态治理与防护提供有效的指导。

2. 国内外研究现状

2.1. 国内相关研究现状

2.1.1. 生态敏感性

国内对生态敏感性的研究起步较晚, 但自 20 世纪末以来, 国内学者在这一领域的研究逐渐深入。最初的研究多集中在单一因素的生态敏感性上, 但随着时间的推移, 研究范围逐渐扩大, 现已涵盖了整个区域的综合性、整体性的生态敏感性分析。

从研究内容的角度来看, 生态敏感性评价主要聚焦于指标因子的筛选以及评价体系的搭建与完善, 中国的专家学者在土地利用、生物多样性、土地沙化等方面构建了与之相关的较为成熟的生态敏感性评价体系, 同时研究的领域也不断扩大, 涉及到生态功能区划分、土地利用与开发、城乡规划、景观设计等多个行业(表 1)。但由于各个区域的当地现状、经济、社会、生态各个方面的要素情况的差异性, 目前没有构建出较为统一的指标体系。从研究方法来看, 大多数都是采取主观赋分的方式, 或是借鉴相关学者专家总结的指标因素, 但此类方法的主观性较强, 计算的权重结果不够客观, 不能很好的反映出研究区域的生态敏感性情况。一个区域的生态环境是一个复杂的系统, 是由多个层次、多个因素之间相互协调、相互制约、相互促进而形成的一个相对稳定的整体, 而层次分析法将一个复杂的系统划分为多个指标层次, 在指标层下设置多个因子层, 层层划分, 对生态环境进行定性与定量的系统化分析与总结, 充分考虑多因子的影响, 整体较为客观, 是现在常用的研究方法之一。从研究尺度来看, 生态敏感性的研究着重在大区域、大尺度的环境条件, 同时对于单个因素的权重研究更加的科学, 同时也有聚焦于某个研究领域的生态敏感性研究, 如滨水、乡村等。研究尺度的宏观与微观各个方面都在不断的进步(表 2)。

2.1.2. 黄河流域生态安全格局

进入 20 世纪 90 年代, 我国的研究重心开始转向生态系统服务及其可持续发展。在这一背景下俞孔坚引入了生态安全格局的研究, 他提出的策略是通过点、线、面构成的生态网络结构, 来优化系统要素

Table 1. In terms of research content

表 1. 研究内容方面

作者(第一位)	研究内容
杨志峰等	城市生态敏感性分析
欧阳志云等	中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究
刘康等	甘肃省生态环境敏感评价及空间分布
汤小华等	福建省生态功能区划研究
杨晶等	荆州市生态环境系统敏感性评价方法及应用研究

Table 2. Research scale**表 2.** 研究尺度方面

作者(第一位)	研究尺度	研究内容
陈榕榕等	以城市为研究尺度	基于 GIS 技术方法对泉州市进行生态敏感性分析
丁鸿浩等	以县城为研究尺度	从自然以及人文两方面选取敏感因子, 采用 AHP-TOPSIS 组合赋权法对闽侯县进行生态敏感性评价
张寒等	以农村为研究尺度	采用 ArcGIS 对山东省潍坊市蔡家沟村进行生态敏感性差异性分析
曾泽南等	以区域内流域为研究尺度	对西毛里湖流域进行生态敏感性评价
岳佳颖等	以风景名胜为研究尺度	对泰山风景名胜区进行生态敏感性评价
杨琪雪等	以煤田生态为研究尺度	对山西省煤田生态环境敏感性评价

的配置, 从而确保生态系统的稳定性。此外, 他还从生物多样性的保护角度出发, 提出了构建景观生态格局的创新思路和框架[14] [15]; 傅伯杰将“景观空间的负荷指数”纳入生态安全格局的识别研究中”[16]; 马克明提出和阐释“区域生态安全格局”的概念和理论[17]。随后, 越来越多学者围绕村落生态安全、生态系统服务价值、城镇生态安全、景观格局优化、生态敏感性、生态红线等开展生态安全格局研究[18]-[21], 涉及全国尺度、省域尺度、地市群、市域和县域等多个空间研究尺度[22] [23], 逐步完善和形成“生态源地 - 生态阳力面 - 生态廊道”生态安全格局构建的基本模式” [24]-[26]。

2.1.3. 黄河流域生态空间网络

自 1990 年来, 大量学者对科学有效建设生态空间网络展开了分析和探索, 研究主要聚焦于国土空间和城市开放空间两大领域, 目的是提升生态斑块间的连接性, 促进地区的可持续发展, 并为区域生态景观建设提供重要的参考。这一网络主要由生态源地和生态廊道共同构成, 其中, 生态源地扮演着网络中的核心角色, 如同网络中的关键节点; 而生态廊道则作为这些源地间的桥梁, 构成了网络的主要连接脉络。随着研究的深入, 关于生态要素的评价方法和生态空间网络的构建方法也在不断完善和优化。目前, 生态源地的识别方法主要有直接选取具有重要保护价值的风景林地和水域作为生态源地, 通过构建综合指标体系包括生态敏感性、景观连通性、生境重要性等维度或利用形态学空间格局方法对生态源地进行识别。最小累积阻力模型是广泛采用的生态廊道构建方法, 在生态廊道的建设中, 模拟物种在空间运动中的受阻情况显得尤为重要, 这也正是其重要地位所在。因此, 这种方法被广泛运用于生态空间之间的联通关系分析, 特别是在生态空间网络的构建和提取过程中。生态空间网络的结构研究为区域生态环境的稳定提供了坚实的科学支撑, 确保了其功能得以充分发挥。

2.2. 国外研究现状

从研究范畴分析, 国外在生态敏感性方面的研究覆盖了多个广泛领域, 尤其聚焦于单一生态环境问题的敏感性探讨, 同时也包含了对河口、湖泊湿地等特殊类型生态系统的生态敏感性分析[27]。从研究历程来看, 国外对生态环境敏感性的探究起步较早, 其研究不仅广泛而且深入。涵盖了诸如雨林在选择性砍伐下的敏感性评估、大陆架区域的生态敏感性分析、水文系统响应气候变化的敏感性研究、农业与气候的相互作用探讨, 以及湿地及其植被对气候变化的敏感性考察等多个方面。此外, 还涉及了基于大量目标结果的空间相似模型, 以制定更为精确的生态敏感性区域指标[28]。

3. 研究区域概况

白银市位于中国西北地区, 是甘肃省辖地级市, 地处黄河上游、甘肃省中部, 以及陕甘宁青四省区

交汇处。位于东经 103°33'~105°34', 北纬 35°33'~37°38'之间。东西宽 147.75 千米, 南北长 249.25 千米, 区域总面积达到 2.12 万平方千米(图 1)。白银市下辖 2 个区(白银区、平川区)和 3 个县(会宁县、靖远县、景泰县)。白银市地处陇西黄土高原西北边缘及祁连山东延余脉向腾格里沙漠过渡地带。境内绝大部是山区, 山地与宽谷平原并存。北部属冲洪积倾斜平原, 中部为低山丘陵, 南部呈黄土梁峁残塬。地势南北高, 中部低, 海拔最高 3321 米, 最低 1275 米。

白银市属于温带大陆性气候, 这一气候类型的特点是冬冷夏热, 降水较少, 且年际和日际温差大。冬季寒冷干燥, 夏季炎热多风, 年降水量较少, 且分布不均, 主要集中在夏季, 但下雨时间较短, 多以雷雨形式出现。春季和冬季降水较少, 气候干燥。

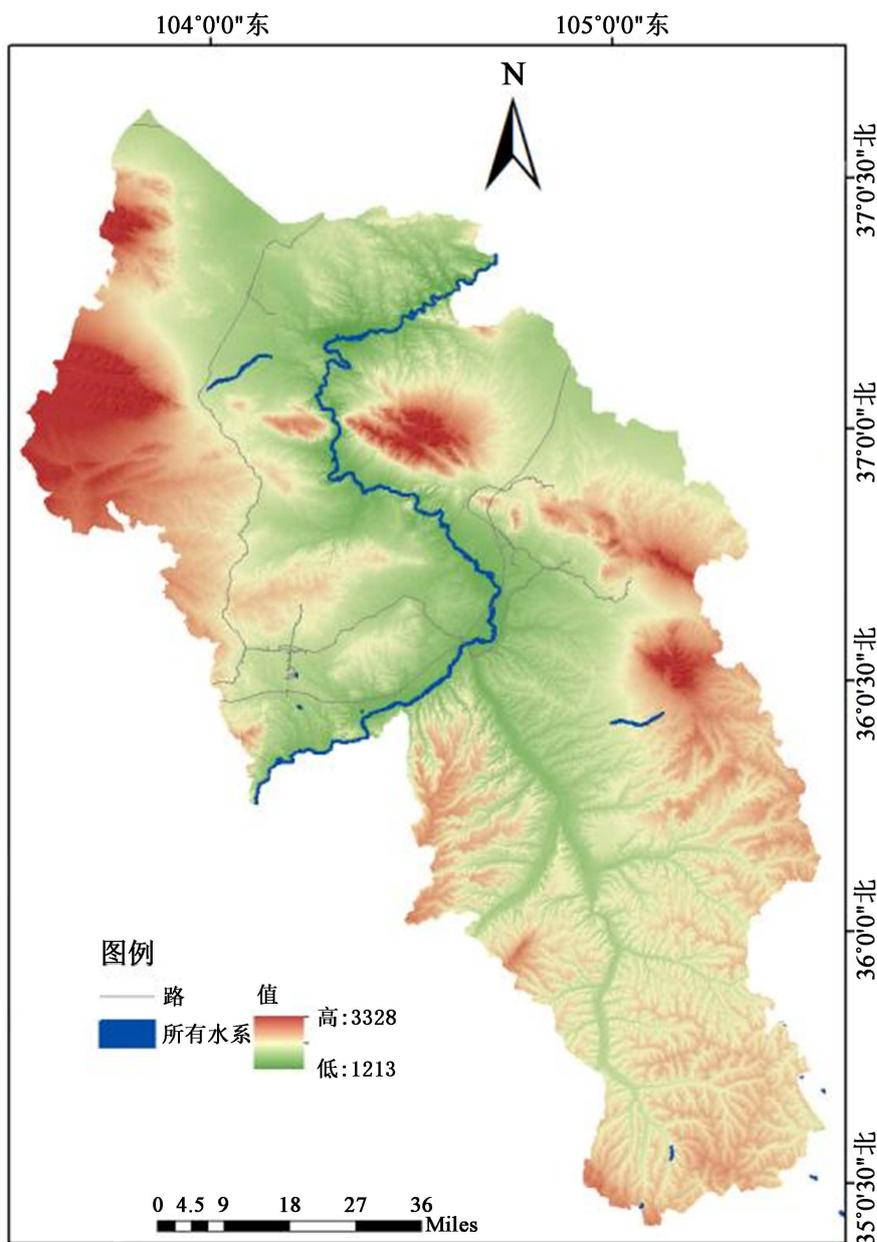


Figure 1. Location map of the city of Silver
图 1. 白银市区位图^①

4. 数据来源及研究方法

4.1. 数据来源

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>), 分辨率为 30 m, 利用 ArcGIS 10.8 版本软件, 完成高程、坡度以及坡向等地理数据的计算与提取工作。植物覆盖率数据, 则是基于 2023 年 8 月(云覆盖率不超过 5%)的 Landsat 8 OLI TIRS 遥感影像获取的。首先使用 ENVI5.3 软件对原始遥感数据进行了预处理; 通过计算归一化差异植被指数 (NDVI) 来估算植物覆盖程度; 最终, 将估算结果导入 GIS 软件, 并经过重分类处理, 成功绘制出研究区域的植被覆盖类型分级图。土地利用数据来源于武汉大学杨杰和黄昕教授团队于 2022 年 8 月向公众发布的 CLCD2021 年全国土地覆盖数据, 采用人工目视解译方法生成, 解译精度在 80% 以上。

4.2. 研究方法

4.2.1. 文献研究法

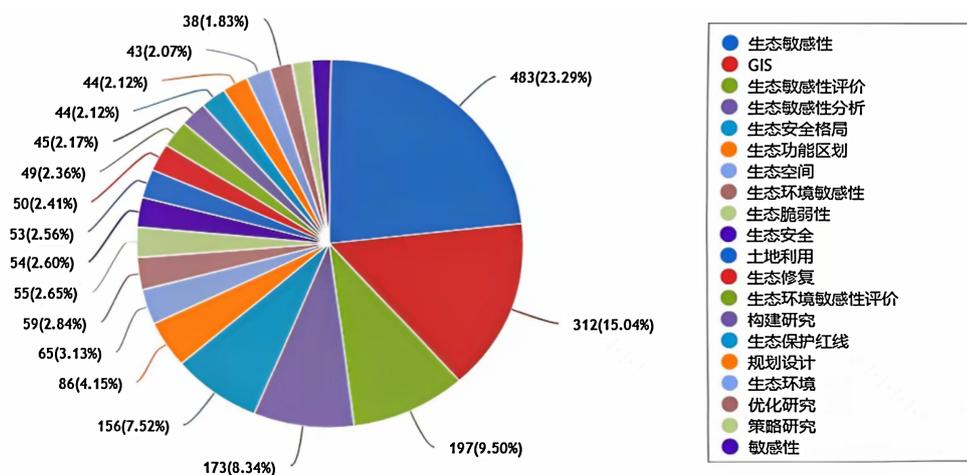
主要是对相关领域文献的梳理学习、统计分析并总结形成相关认识并提出现阶段研究不足的过程。本文通过对 CNKI 数字图书馆以及 Web of Science、Engineering Village 等外文数据库以及图书馆的相关文献资料的搜集和梳理为本文的研究提供理论基础、认识相关概念、理清研究思路, 并在此基础上确立研究框架。

通过检索主题词“生态敏感性”获得相关的文献数据, 通过检索结果可知, 与“生态敏感性”相关的文献有 2546 篇, 主要主题主要集中在“生态敏感性”“GIS”“生态敏感性评价”“生态敏感性分析”四个方面。学科主要分布在环境科学与资源利用和建筑科学与工程两个学科内(图 2)。

通过主题词检索“黄河流域生态文明”, 检索出文献总数为 951 篇, 从主题词的分布可以看出主要集中在黄河流域、高质量发展、流域生态、生态保护四个主要方向, 次要主题主要集中在黄河流域、生态保护、高质量发展、生态文明建设等多个方向(图 3)。对于黄河生态文明建设的研究主要集中在环境科学与资源利用、经济体制改革、行政法及地方法制、水利水电工程四大学科方向, 其它学科对该领域的研究相对较少(图 4)。

4.2.2. 生态敏感性因子的选取与分级

对所选取的 6 个因子进行综合性的分析与评价, 参考相关学者专家的评价标准, 采用等间距分类的方法, 对 6 个因子进行敏感度划分, 分为不敏感、轻度敏感、中度敏感、高度敏感和极度敏感 5 个级别,



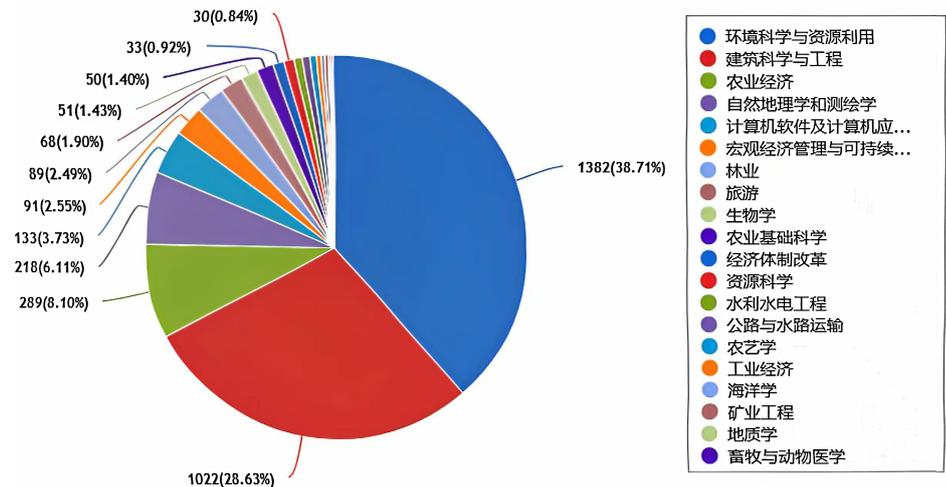


Figure 2. Main subject headings and subject distribution maps
图 2. 主要主题词、学科分布图^②

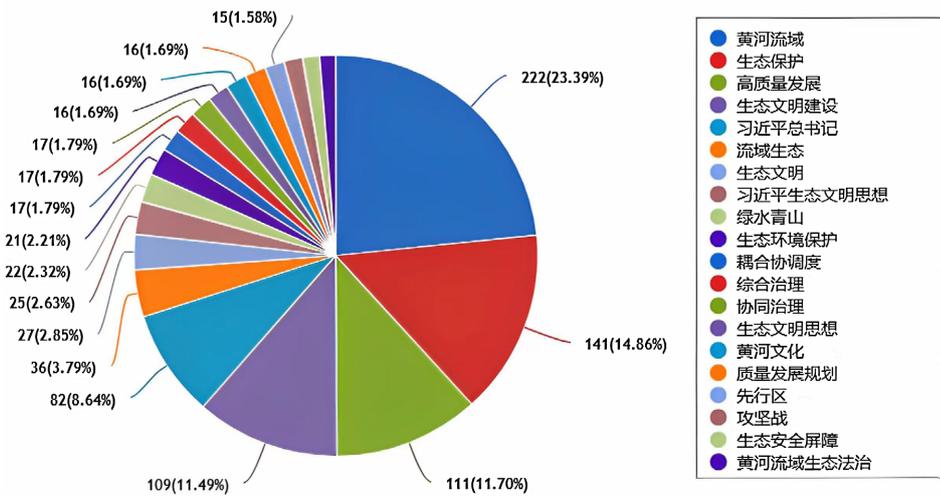
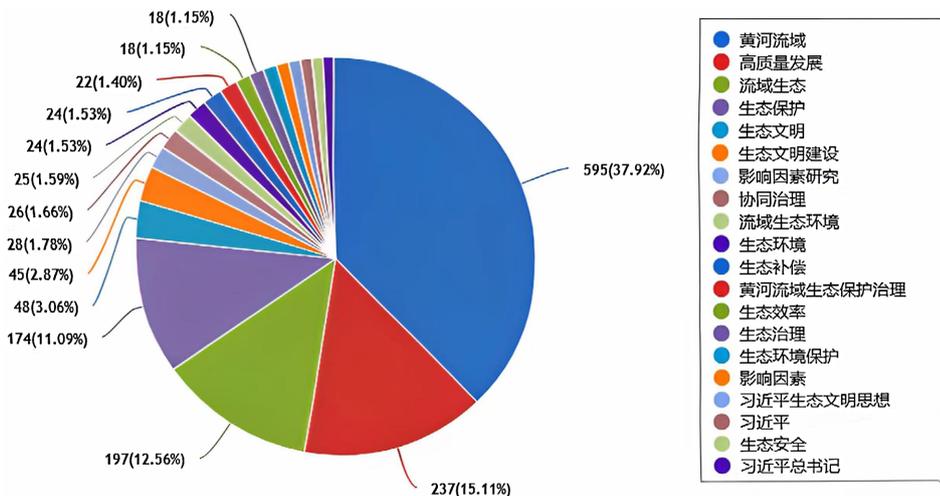


Figure 3. Distribution of the main theme and secondary theme of the keyword "Ecological Civilization in the Yellow River Basin"

图 3. 主题词“黄河流域生态文明”主要主题、次要主题分布^②

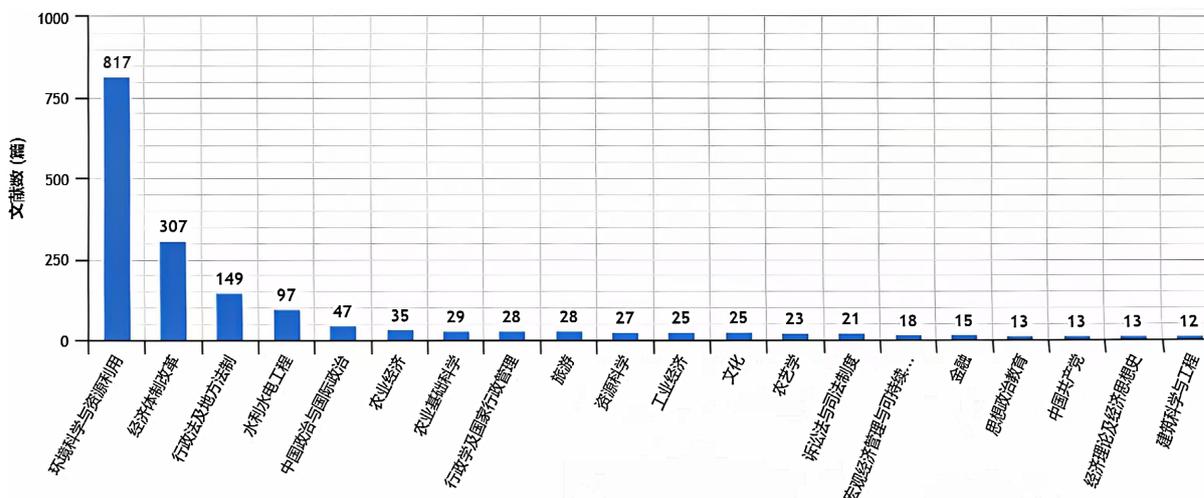


Figure 4. Discipline distribution of the keyword “ecological civilization in the Yellow River Basin”

图 4. 主题词“黄河流域生态文明”学科分布^②

Table 3. The weight of each ecological sensitivity evaluation factor

表 3. 各生态敏感性评价因子的权重

生态敏感性评价因子	单位	不敏感 1	轻敏感 2	中度敏感 3	高度敏感 4	极敏感 5
土地利用类型		裸地	不透水面	农田/草原	水域	灌木/森林
植被覆盖度		>0.45	0.45~0.35	0.35~0.25	0.25~0.10	<0.10
高程	m	<1628	1628~1831	1831~2040	2042~2369	>2369
坡向		东	东北、东南	南	西南、西北	北
坡度	°	<10	10~15	15~25	25~35	>35
距水系距离	m	>1500	1000~1500	500~1000	100~500	<100

对其进行赋分，依次为 1、2、3、4、5，具体划分标准如表 3 所示。

(1) 植被覆盖度是指某一区域内，植被在地表垂直方向上的投影面积占该区域总面积的比例，这一数值能够直观体现生态系统的构成及其健康状况。而归一化植被指数与植被覆盖度之间存在着较为紧密的关联，两者呈现出一定的相关性。植被指数计算方法为[27]：

$$NDVI = \frac{Band_{NIR} - Band_{Red}}{Band_{NIR} + Band_{Red}}$$

式中：NDVI 为归一化差异植被指数，Bands 为近红外波段反射率，Band_r 为红光波段反射率。

(2) 植被覆盖度在一定程度上可以量化地表植被状况，表征生态敏感性程度。本文采用像元二分法来计算研究区的植被覆盖度。具体计算公式为：

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s}$$

式中：FVC 为植被覆盖度，NDVI 为像元实际的 NDVI 值；NDVI_s 与 NDVI_v，分别为无植被覆盖的像元 NDVI 值与完全被植被覆盖像元的 NDVI 值。

4.2.3. 层次分析法

通过采用层次分析法对各个因子进行赋值计算其权重，从而得到该评价指标的重要程度。本文主要

参考刘杰, 等: 甘肃省生态敏感性评价论文中的层次分析方法获得的权重, 对其进行学习和借鉴。层次分析法通过构建判断矩阵, 对评价因子进行两两比较进行赋分, 最后通过一致性检验, 最终获得其权重值(图 5, 表 4)。

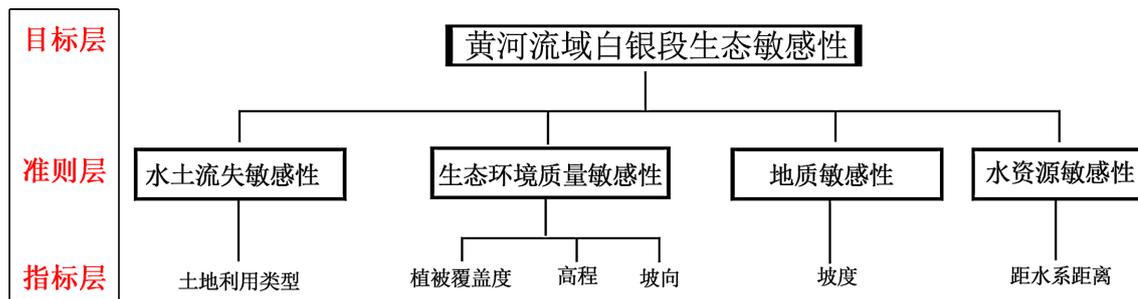


Figure 5. Ecological sensitivity hierarchy model in Gansu Province
图 5. 甘肃省生态敏感性层次模型^①

Table 4. The weight of each ecological sensitivity evaluation factor
表 4. 各生态敏感性评价因子的权重

目标层	准则层	权重	指标层	权重
黄河流域白银段生态 敏感性	水土流失敏感性	0.306	土地利用类型	0.306
			植被覆盖度	0.215
	生态环境质量敏感性	0.455	高程	0.152
			坡向	0.088
			地质敏感性	0.131
	水资源敏感性	0.108	距水系距离	0.108

4.2.4. 空间叠加分析法

将上述的 6 个因子的数据进行总结与梳理后, 借助 ArcGIS 10.6 的栅格计算器工具, 对生态敏感性的因子进行叠加计算, 最终的得出整个区域的生态敏感性评价, 得出的数值越高, 说明该区域的生态敏感性越高, 更需要人们的注意与保护。计算公式如下:

$$S_i = \sum_{k=1}^n W_k \times C_i(k)$$

式中: i 为评价单元编号; k 为评价因子编号; n 为评价因子总数; S_i 为第 i 个评价单元的综合值; W_k 为第 k 个评价因子的权重; $C_i(k)$ 为第 i 个评价单元的第 k 个评价因子敏感性评价价值。

5. 结果与分析

5.1. 单因子生态敏感性分析与评价

5.1.1. 土地利用敏感性分析

不同的土地利用类型, 对生态敏感性因子的反应程度不同, 其最终生态敏感行程度也不同。白银市的整体生态敏感性较若, 建设用地的敏感性较轻, 农田和草原处于中度敏感区域, 并且占地面积最大为 19,065.90 平方千米, 占总面积的 95% 左右, 水域和灌木、森林则处于高度敏感和极敏感的区域, 占地面积分别为 46.90 平方千米、40.93 平方千米, 分别占总面积的 0.22% 和 0.16% (图 6)。从图中可以看出, 对比同一土地利用类型下不同生态敏感级别的面积占比, 建设用地与耕地主要展现出中度和轻度生态敏感

性, 而林地则主要表现为中度至高度生态敏感性。

5.1.2. 植被覆盖度生态敏感性分析

植被覆盖度是评估一个地区地表植被状况的关键指标, 它既能反映该区域的生态环境现状, 又作为监测生态环境动态变化的要素而具有重要意义。从图中可知, 白银市的植被覆盖敏感度整体呈西北高东南低的分布格局(图 7)。植被覆盖度高度敏感的区域所占面积最大, 为 8164.22 平方千米, 约占总面积的 40.7%。极敏感区域次之, 总面积为 5037.72 平方千米, 约占总面积的 25%。中度敏感区域位于第三位, 总面积为 2013.82 平方千米, 约占总面积的 10%。不敏感区域和轻敏感区域的面积为 3661.08 平方千米、1207.92 平方千米, 约占总面积的 18.3%和 6%。综上所述, 白银市的植被覆盖度整体敏感度较高, 生态较为脆弱。

5.1.3. 海拔高度生态敏感性分析

海拔高度的提升对区域的生态垂直性分异起到了主导作用。随着山势的攀升, 生物多样性呈现出逐渐减少的趋势, 与此同时, 环境在面对外部干扰时的自我恢复能力也逐渐降低。简而言之, 高度的增加

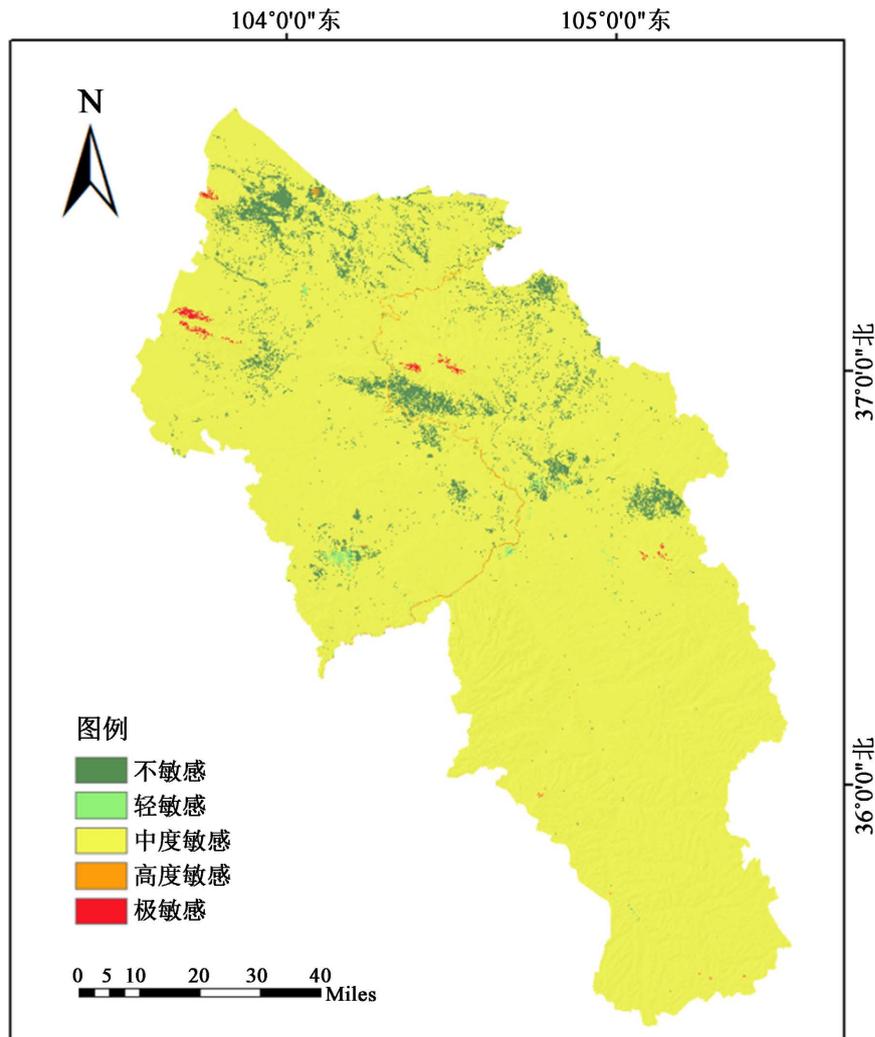


Figure 6. Spatial analysis of land use sensitivity

图 6. 土地利用敏感性空间分析^①

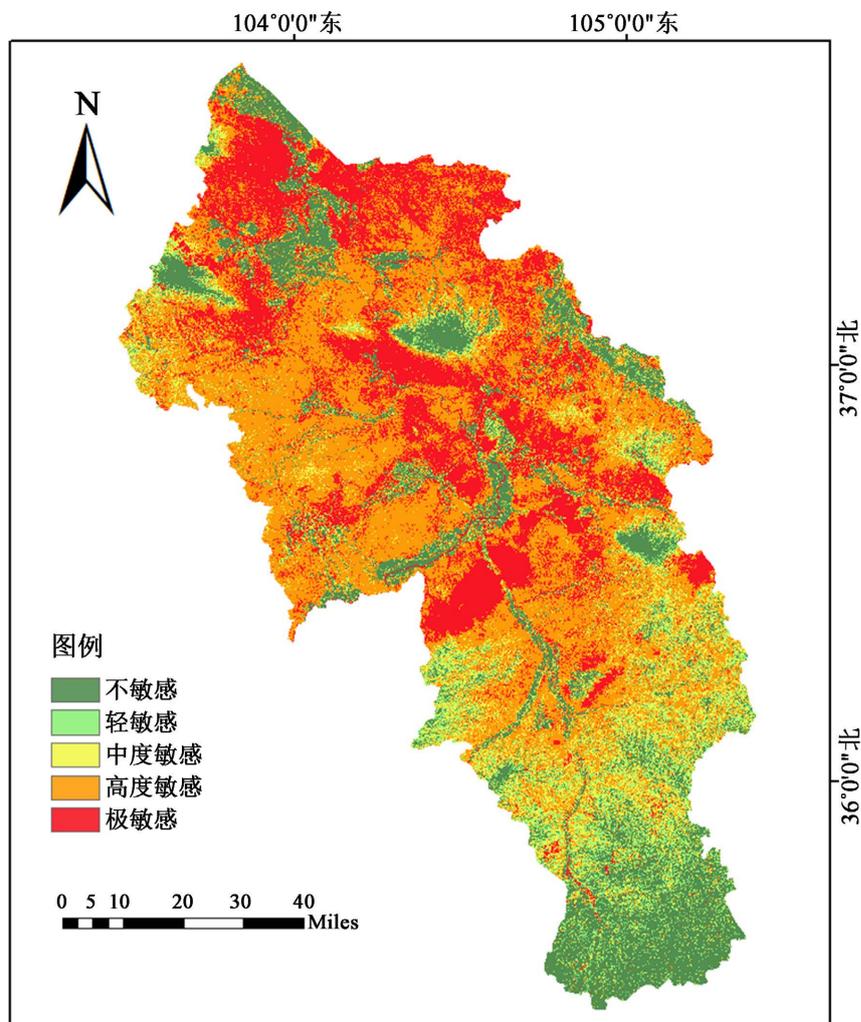


Figure 7. Spatial analysis of ecological sensitivity of vegetation coverage
图7. 植被覆盖度生态敏感性空间分析^①

使生态敏感性愈发凸显(图8)。从图中可知, 白银市的高程敏感性在空间分布上呈现出中部区域低, 东西两部分区域敏感度高特点。不同级别的敏感性所占比例较为接近。中度敏感区域面积最大, 约 6100.90 平方千米, 占总面积的 30% 左右。轻敏感区域与中度敏感区域面积相近, 约 5933.07 平方千米, 约占总面积的 29.5%。高度敏感区域和极敏感区域相对较少, 约占总面积的 15% 和 5.2%, 而极敏感区域主要分布在西北地区。从整体上看, 白银市的高程敏感性集中在不敏感、轻敏感、中度敏感三个级别, 高程的整体生态性较为稳定。

5.1.4. 坡向敏感性分析

坡向对植被接受太阳辐射的时间长短具有显著影响。由于我们国家位于北半球的地理位置, 北坡相对于南坡而言, 其接受到的阳光照射时间更短。这种差异直接影响了北坡的生物多样性, 使其相较于南坡而言显得较为贫瘠, 同时生态敏感性也更高。根据图中信息可知, 坡向敏感性轻度敏感区域所占面积最大, 为 5292.20 平方千米, 约占总面积的 30%。高度敏感区域的面积为 4707.58 平方千米, 占总面积的 27% 左右。极敏感区域面积为 2409.70 平方千米, 占比 13%。不敏感区域和中度敏感区域分别占比 16% 和 14%。综上所述, 白银市的坡向敏感性各自占比较为相近, 同时空间分布也较为均衡(图9)。

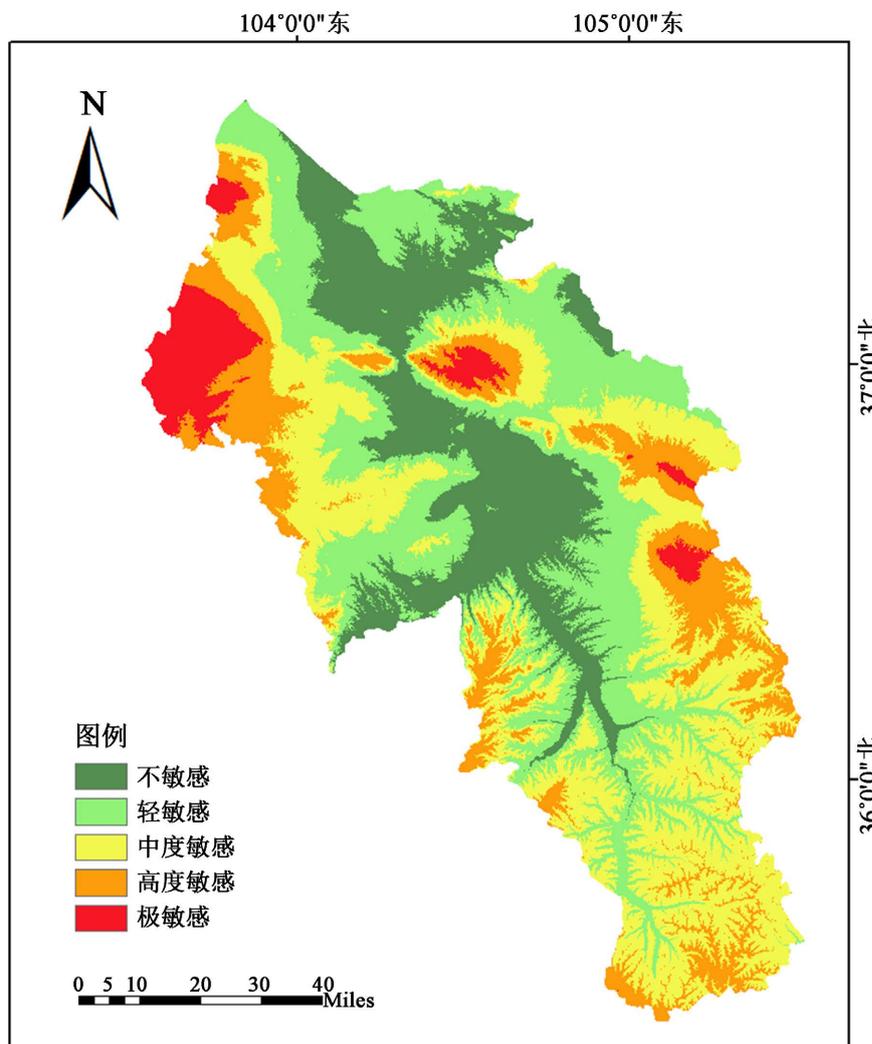


Figure 8. Spatial analysis of ecologically sensitive altitude
图 8. 海拔高度生态敏感性空间分析图^①

5.1.5. 坡度生态敏感性分析

在不同坡度的背景下,生态敏感性程度呈现显著差异。普遍而言,坡度的增加会加剧生态系统的的不稳定性,进而提升其生态敏感性。这意味着坡度越陡峭,生态系统对外部干扰的响应更为敏感和脆弱。研究区域的坡度生态敏感性整体上呈现出西北低东南高的空间分布格局(图 10),根据图 10 所示,白银市的坡度生态敏感性的不敏感区域占地面积最大,为 12,167.34 平方千米,约占总面积的 60.7%。轻度敏感区和中度敏感区所占面积相近,分别为 3671.38 平方千米和 3418.25 平方千米,约占总面积的 18.3%和 17%。极敏感区域的面积最小,为 87.93 平方千米,约占总面积的 0.5%。

5.1.6. 距水系距离生态敏感性分析

水系,作为自然界的重要组成部分,为周边生物群落提供了赖以生存的必要条件。然而,随着人类社会活动的日益频繁和城市化进程的加速,越靠近水系的区域,人为干扰活动逐渐增强,城市化水平也越来越高。这些区域成为了人类活动与自然生态系统相互交织的敏感地带。由于人为干扰的加剧,水系的自然状态受到了不同程度的破坏,生态环境也面临着更大的压力。因此,这些区域的生态敏感性也

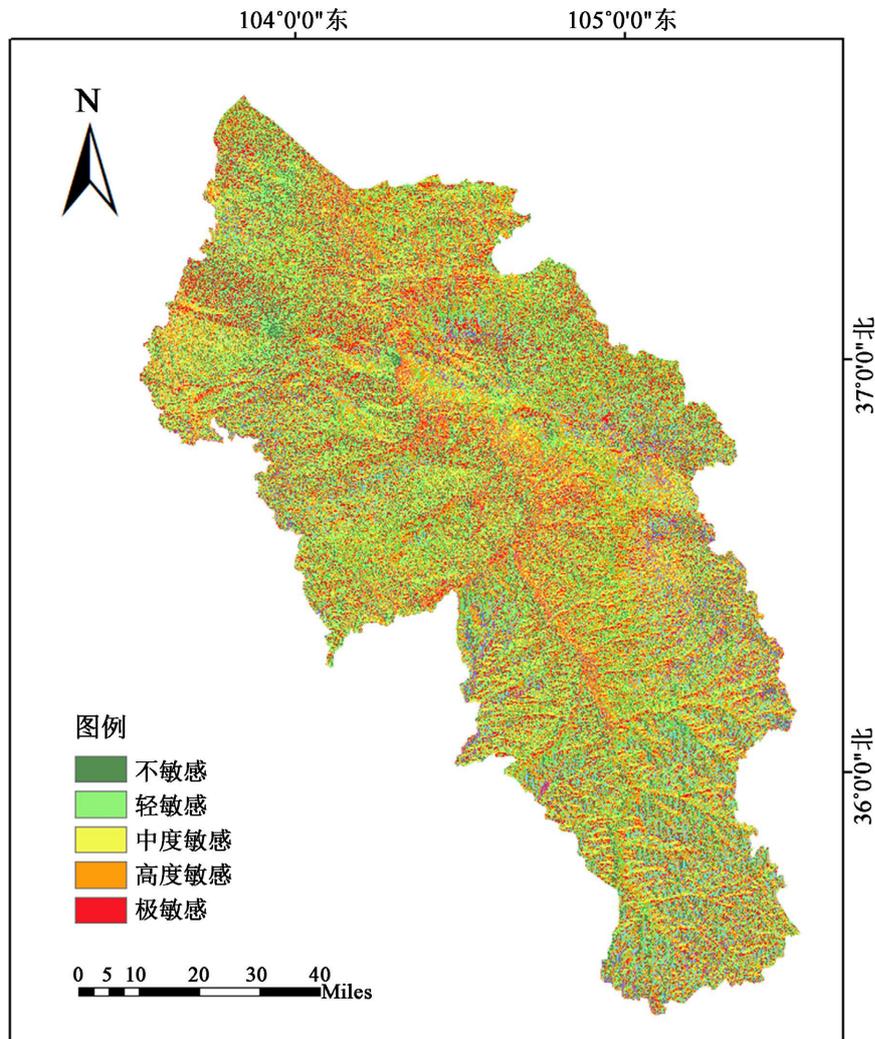


Figure 9. Spatial analysis of slope orientation
图 9. 坡向敏感性空间分析^①

随之增强, 任何微小的变化都可能对生态系统产生深远的影响。白银市的距水系距离的生态敏感性空间变化如图 11 所示(图 11)。据图可知, 不敏感区域占地最大, 为 5877.62 平方千米, 约占总面积的 29.2%, 其次是轻度敏感区域, 为 4758.84 平方千米, 占总面积的 23.7%。其中极敏感区域面积最少, 为 1169.26 平方千米, 约占总面积的 5.9%, 大多分布在距离水系最近距离(<500 m)的区域范围内。

5.2. 多因子生态环境敏感性综合评价与分析

根据上述提到的 6 个生态敏感性因子的权重数据和整体的空间分布后, 将数据导入 ArcGIS10.6 软件当中, 利用栅格计算器, 将各因子的生态敏感性分级图以及各自对应的权重进行加权计算, 即土地利用类型 $\times 0.306$ + 植被覆盖度 $\times 0.215$ + 高程 $\times 0.152$ + 坡向 $\times 0.088$ + 坡度 $\times 0.131$ + 距水系距离 $\times 0.108$, 最终计算出黄河流域白银段的整个区域的生态敏感性, 得到最终的生态敏感性空间分布图(图 12)。

利用自然断点分类法, 将黄河流域白银段的生态敏感性综合评估划分为五个等级, 分别是不敏感区、轻度敏感区、中度敏感区、高度敏感区和极敏感区, 最终得到研究区域的生态敏感性综合评价空间分布图。据图可知, 高度敏感区和极敏感区整体所占比例较大, 且主要集中在西北部和中部偏东南区域,

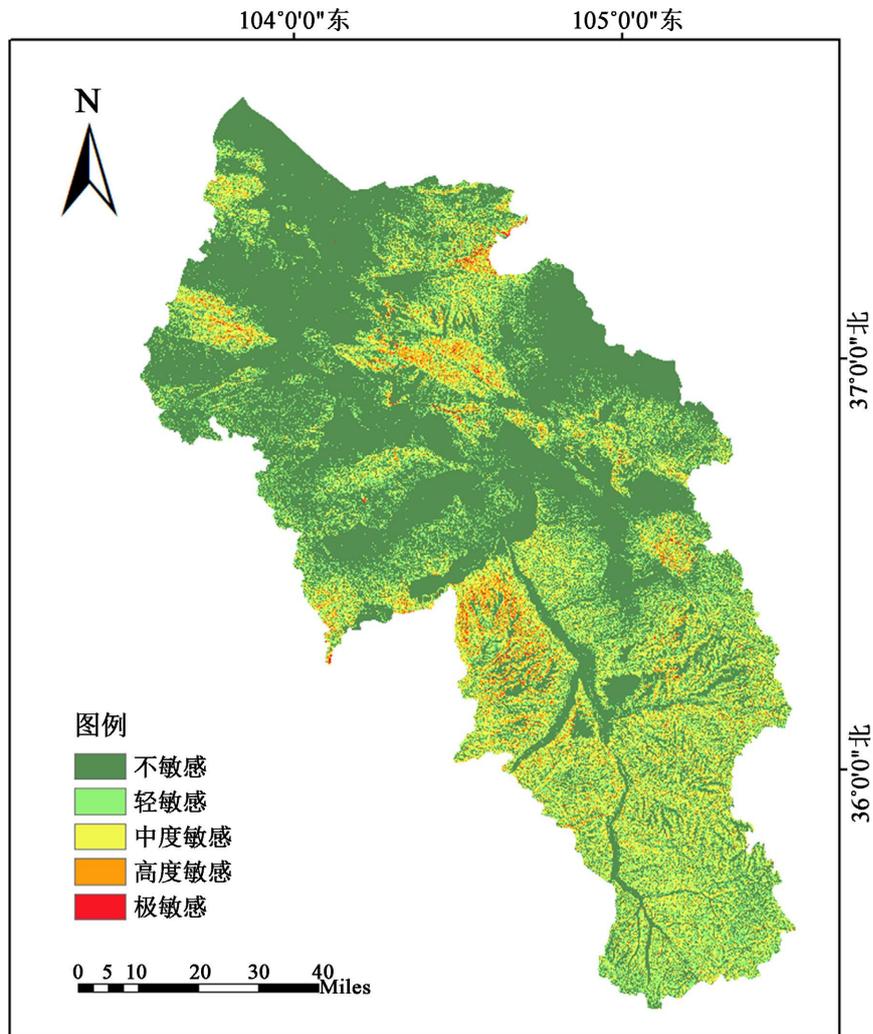


Figure 10. Spatial analysis of slope ecological sensitivity
图 10. 坡度生态敏感性空间分析^①

此区域的生态敏感性整体较为脆弱。不敏感区域在整个区域中所占比例较少。

6. 结论

本文基于 GIS 软件对黄河流域白银段的生态敏感性进行分析, 通过对相关性较强的生态敏感性因子进行分析最终得出以下结论: (1) 黄河流域白银段的生态敏感性整体较为脆弱, 极敏感区极易受到人类活动的影响, 该区域应以保护为主, 最大程度地保护当地的生境, 维持生态系统的平衡与稳定。(2) 高度敏感区应加大力度控制其开发进程, 把生态保护提到重要的位置, 进一步加强对已破坏的生境的修复与治理, 防止进一步恶化。(3) 中度敏感区域, 尽管它能在一定程度上抵御人类活动和自然灾害的干扰, 但其生态环境的脆弱性仍需我们高度关注。在发展过程中, 首要原则应是生态保护, 确保开发活动既适度又适量。此外, 增强该区域的生态恢复能力也至关重要, 以确保其生态环境的持续稳定。(5) 轻度敏感区与不敏感区的生态系统表现出较高的稳定性, 同时, 由于植被覆盖度不高, 这些区域具备较好的抗干扰性能。因此, 这些区域具备多样化开发建设的潜力。然而, 无论进行何种开发活动, 我们都应坚持将生态保护置于首要位置, 确保发展战略始终围绕生态优先的原则展开。通过对黄河流域白银段的研究,

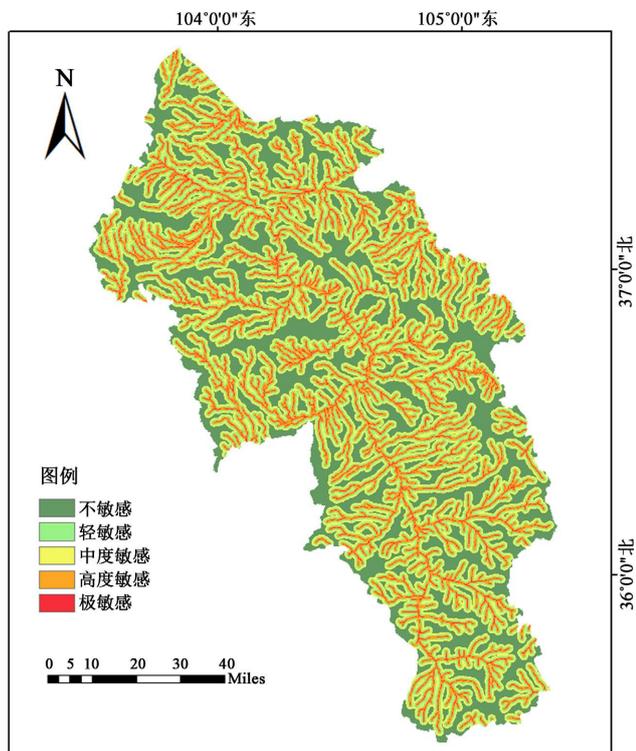


Figure 11. Spatial analysis of ecological sensitivity at distance from water system
图 11. 距水系距离生态敏感性空间分析^①

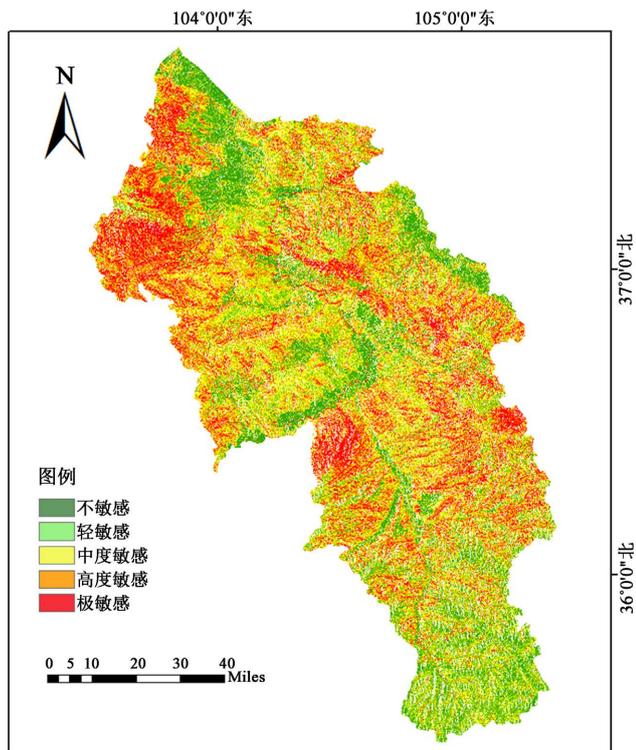


Figure 12. Multi-factor comprehensive ecological sensitivity assessment
图 12. 多因子综合生态敏感性评价^①

为黄河流域生态文明建设提供相应的参考。

注 释

- ① 图 1、图 5~12 来源：作者自绘。
- ② 图 2~4 来源：中国知网截图。

参考文献

- [1] 刘杰, 宋国伟, 张小玉. 甘肃省生态敏感性评价[J]. 绿色科技, 2023, 25(24): 1-7.
- [2] 任保平, 邹起浩. 黄河流域环境承载力的评价及进一步提升的政策取向[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2021, 51(5): 824-838.
- [3] 卢荡, 魏伟, 王继平, 等. 重要生态功能区干旱时空演变特征及对关键资源的影响: 以黄河流域为例[J]. 环境科学, 2024, 45(6): 3352-3362.
- [4] 赵政楠, 茹少峰. 黄河流域生态补偿的时空格局、区域差异及分布动态演进[J]. 环境科学, 2024, 45(10): 5853-5867.
- [5] 宗慧琳, 张晓伦, 袁希平, 等. 利用 GEE 进行 1990~2022 年小江流域生态环境质量时空格局与演变趋势分析[J]. 环境科学, 2024, 45(7): 4122-4136.
- [6] 陈宜欣, 宁晓刚, 张翰超, 等. 遥感生态指数(RSEI)模型及应用综述[J/OL]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/10.1759.P.20240125.1640.016.html>, 2024-01-02.
- [7] 左其亭. 黄河流域生态保护和高质量发展研究框架[J]. 人民黄河, 2019, 41(11): 1-6+16.
- [8] 刘维, 于强, 裴燕如, 等. 黄河流域生态空间网络特征[J]. 北京林业大学学报, 2022, 44(12): 142-152.
- [9] 张子灿, 张云路. 基于 GIS 适宜性评价的城市山地公园选址研究[J]. 中国城市林业, 2021, 19(1): 101-106.
- [10] 张爱平, 钟林生, 徐勇, 等. 基于适宜性分析的黄河首曲地区生态旅游功能区划研究[J]. 生态学报, 2015, 35(20): 6838-6847.
- [11] 汤尚颖, 饶茜. 加强生态地质环境承载力管理提高生态敏感区管理水平: 以汉江河谷地带为例[J]. 领导科学论坛, 2018(15): 25-26+45.
- [12] 刘是亨, 王欣, 胡杜娟, 等. 基于序关系分析法的武夷山国家公园生态敏感性评价[J]. 江西科学, 2021, 39(1): 63-69.
- [13] 孙文超, 谢乾波, 李晴, 等. GIS 支持下生态敏感性评价——以济南市长清区为例[J]. 测绘与空间地理信息, 2023, 46(3): 60-63+72.
- [14] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局[J]. 生态学报, 1999, 19(1): 8-15.
- [15] 俞孔坚, 李迪华, 段铁武. 生物多样性保护的景观规划途径[J]. 生物多样性, 1998, 6(3): 205-211.
- [16] 傅伯杰, 陈利顶, 王军, 孟庆华, 赵文武. 土地利用结构与生态过程[J]. 第四纪研究, 2003, 23(3): 247-255.
- [17] 马克明, 傅伯杰, 黎晓亚, 关文彬. 区域生态安全格局: 概念与理论基础[J]. 生态学报, 2004, 24(4): 761-768.
- [18] 王晨茜, 张琼锐, 张若琪, 孙学超, 徐颂军. 广东省珠江流域景观格局对水质净化服务的影响[J]. 生态环境学报, 2022, 31(7): 1425-1433.
- [19] Fang, Z., Bai, Y., Jiang, B., Alatalo, J.M., Liu, G. and Wang, H. (2020) Quantifying Variations in Ecosystem Services in Altitude-Associated Vegetation Types in a Tropical Region of China. *Science of the Total Environment*, **726**, Article 138565. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138565>
- [20] 孙宝娣, 于德湖, 崔东旭. 流域生态系统服务和水土资源匹配研究进展[J]. 生态学报, 2023, 43(10): 4308-4318.
- [21] Gao, J., Du, F., Zuo, L. and Jiang, Y. (2020) Integrating Ecosystem Services and Rocky Desertification into Identification of Karst Ecological Security Pattern. *Landscape Ecology*, **36**, 2113-2133. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01100-x>
- [22] Li, H., Li, D., Li, T., Qiao, Q., Yang, J. and Zhang, H. (2010) Application of Least-Cost Path Model to Identify a Giant Panda Dispersal Corridor Network after the Wenchuan Earthquake—Case Study of Wolong Nature Reserve in China. *Ecological Modelling*, **221**, 944-952. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.12.006>
- [23] 王玉莹, 金晓斌, 沈春竹, 鲍桂叶, 刘晶, 周寅康. 东部发达区生态安全格局构建——以苏南地区为例[J]. 生态学报, 2019, 39(7): 2298-2310.

- [24] Klar, N., Herrmann, M., Henning-Hahn, M., Pott-Dörfer, B., Hofer, H. and Kramer-Schadt, S. (2012) Between Ecological Theory and Planning Practice: (Re-) Connecting Forest Patches for the Wildcat in Lower Saxony, Germany. *Landscape and Urban Planning*, **105**, 376-384. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.01.007>
- [25] Dong, J., Peng, J., Xu, Z., Liu, Y., Wang, X. and Li, B. (2021) Integrating Regional and Interregional Approaches to Identify Ecological Security Patterns. *Landscape Ecology*, **36**, 2151-2164. <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01233-7>
- [26] 胡浩穹. 国土空间规划背景下城市群生态安全格局和生态修复体系的构建与耦合[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2021.
- [27] 徐鑫, 房磊, 赵红霞, 等. 基于 GIS 的河流生态敏感性评价——以山东省肥城市康王河为例[J]. 江西科学, 2024, 42(2): 388-395.
- [28] 贾冰. 基于 GIS 和 RS 的晋城市生态环境敏感性评价研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 太原理工大学, 2008.