

基于GIS的官鹅沟国家森林公园生态敏感性研究

Research on Ecological Sensitivity in Guan'egou National Forest Park Based on GIS

闫乐 朱晓霞* 杨辉

YAN Le, ZHU Xiaoxia*, YANG Hui

摘要

当前,我国众多森林公园正面临旅游开发强度剧增与生态系统脆弱性加剧的突出矛盾,如何构建量化评估模型实现开发边界的科学划定成为学界关注焦点。以秦巴生物多样性生态功能区重要节点——甘肃官鹅沟国家森林公园中的核心景观区域作为研究区域,选取道路缓冲区、高程、坡度、坡向、水域缓冲区、植被覆盖率以及土地利用7个核心生态因子作为评价指标,综合运用层次分析法(AHP)和地理信息系统(GIS),获得研究区域生态敏感性的综合评估结果。分析结果显示:影响生态敏感性的最主要因子是坡度和植被覆盖率,其次是水域缓冲区、高程、土地利用、道路缓冲区、坡向。官鹅沟国家森林公园生态敏感性呈现显著梯度分布:低敏感度和较低敏感度的区域主要分布在北部和东北部,共占总面积的38.28%;中敏感区主要集中在中下部地区,占总面积的27.38%;高度敏感区和中高敏感区共占34.34%,主要集中在园区南部和西南部。基于此,提出“分区管控、分级保护”策略,明确了不同区域的功能定位与开发强度,并提出具体的保护和开发措施。

Abstract

At present, many forest parks in China are facing the prominent contradiction between the rapid increase of tourism development intensity and the aggravation of ecosystem vulnerability. How to construct a quantitative evaluation model to achieve the scientific delineation of the development boundary has become the focus of academic circles. Taking the core scenic area of Guan'egou National Forest Park in Longnan City, an important node of Qinba biodiversity ecological function area, as the research object, seven core ecological factors including road buffer zone, elevation, slope, aspect, water buffer zone, vegetation coverage and land use were selected as evaluation indexes, and the comprehensive evaluation results of ecological sensitivity in the study area were obtained by using analytic hierarchy process (AHP) and geographic information system (GIS). The analysis results show that the most important factors affecting ecological sensitivity are slope and vegetation coverage, followed by water buffer zone, elevation, land use, road buffer zone and slope direction. The ecological sensitivity of Guan 'egou National Forest Park showed a significant gradient distribution: the areas with low sensitivity and lower sensitivity were mainly distributed in the north and northeast, accounting for 38.28 % of the total area; the moderately sensitive areas are mainly concentrated in the middle and lower parts, accounting for 27.38% of the total area. The highly sensitive area and medium-high sensitive area accounted for 34.34%, mainly concentrated in the south and southwest of the park. Based on this, this paper puts forward the strategy of 'zoning control and hierarchical protection', clarifies the functional positioning and development intensity of different regions, and puts forward specific protection and development measures.

关键词

生态敏感性; 森林公园; 地理信息系统; 层次分析法

Keywords

Ecological sensitivity analysis; Forest park; Geographic information system; Analytic Hierarchy Process

收稿日期: 2024-12-02

修回日期: 2025-03-05

文章亮点

1) 结合 AHP 与 GIS 技术, 评估山地型自然保护区生态敏感性。2) 明确坡度、植被覆盖率等因子影响, 划分生态敏感区等级, 揭示其梯度分布特征。3) 提出“分区管控、分级保护”的具体策略, 助力生态保护与旅游开发协调。

城市化进程的加快和居民生活质量的提升, 促使了人们对自然环境和健康的关注度持续上升, 生态旅游与自然康养随之逐渐成为现代旅游业的核心趋势^[1]。森林公园因自然资源丰富、生态环境独特, 成为人们休闲康养之旅的首选地。然而, 游客数量的激增给森林公园的生态环境带来较大压力, 其生态系统脆弱的特征凸显。在此背景下, 对森林公园开展生态敏感性分析至关重要。最早提出生态敏感性 (ecological sensitivity) 概念的是 I. L. McHarg 教授, 他在 1967 年撰写的《设计结合自然》(Design with Nature) 中首次引入了生态敏感性分析这一概念, 这极大地促进了生态适宜性研究的发展和创新^[2]。生态敏感性衡量了生态系统对人类活动和自然变化的响应强度, 揭示了生态环境问题出现的可能性和风险。生态敏感性越高, 生态系统越易受损; 反之则更具稳定性^[3-5]。生态敏感性分析能够精准识别森林公园内不同区域的生态脆弱性, 预测潜在生态环境风险, 为生态资源的保护和合理开发提供科学依据, 确保森林公园在满足公众需求的同时实现可持续发展。

大量研究显示, 关于森林公园生态敏感性评估的研究已经逐渐发展至较为成熟的阶段, 不仅涵盖了生态敏感性的理论和概念, 还涉及评估方法和技术的应用。国内研究者主要利用地理信息系统技术 (GIS) 和遥感技术 (RS) 对森林公园的生态敏感性进行评价, 识别不同敏感区域的特征, 并制定具有针对性的保护、管理和利用策略^[6-9]。其中, 对于国家森林公园的生态敏感性研究主要集中在评价指标体系的构建以及生态敏感性空间分布特征的分析上, 但在不同类型国家森林公园生态敏感性的动态变化特征分析以及针对性保护策略上仍存在明显不足。而国家森林公园的生态保护目前面临的主要问题包括保护与开发之间矛盾突出、管理机制有待健全等, 平衡国家公园生态保护与开发成为重中之重^[10]。因此, 在森林公园生态保护与旅游开发协调发展的背景下, 如何精准识别不同区域生态敏感性、预测潜在生态环境风险并制定针对性保护策略, 以实现森林公园可持续发展, 是亟待解决的关键问题。

甘肃官鹅沟国家森林公园地处青藏高原东北部, 具有独特地理与复杂地质背景, 融合原始森林、雪山、湖泊等景观, 生物多样性丰富, 且人文底蕴深厚。对其开展生态敏感性评估, 对推动生物多样性保护、生态旅游发展和民族文化遗产具有重要意义。本研究以官鹅沟国家森林公园为研究对象, 采用 GIS 技术结合层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP), 构建生态敏感性评价体系, 对其生态敏感性进行定量分析, 并基于此探索有效的保护和利用策略, 以期为国家森林公园的生态保护和可持续发展提供科学支持。

1 研究区概况

官鹅沟国家森林公园 (104°01'1.82"~104°28'49.66"E, 33°50'33.15"~34°08'34.35"N) 位于甘肃省陇南市宕昌县, 临近哈达铺历史文化名镇和世界自然遗产九寨沟, 交通便捷, 距离兰州市 340 km、陇南市区 116 km、成都市 540 km。该区域属温带大陆性季风气候, 温和湿润, 四季分明。公园内山脉连绵, 沟壑纵横, 形成“两谷夹一梁”地形, 地势自南向北倾斜。项目规划书的数据显示, 官鹅沟国家森林公园总面积为 419.96 km²。本文的研究区域包含由官珠沟、鹅嫚沟、雷古山等核心景区构成的官鹅沟大景区, 整体面积约为 146.62 km² (图 1)。

研究区域内自然景观丰富多样, 融合了森林、草原、地貌、水体和气象等元素, 拥有 13 个湖泊、20 余处瀑布、高山草甸以及终年积雪的雪山, 景观优美且独具特色。此外, 研究区域生物多样性显著, 分布有多种珍稀动物和植物, 包括国家一级保护动物林麝 *Moschus berezovskii*, 国家一

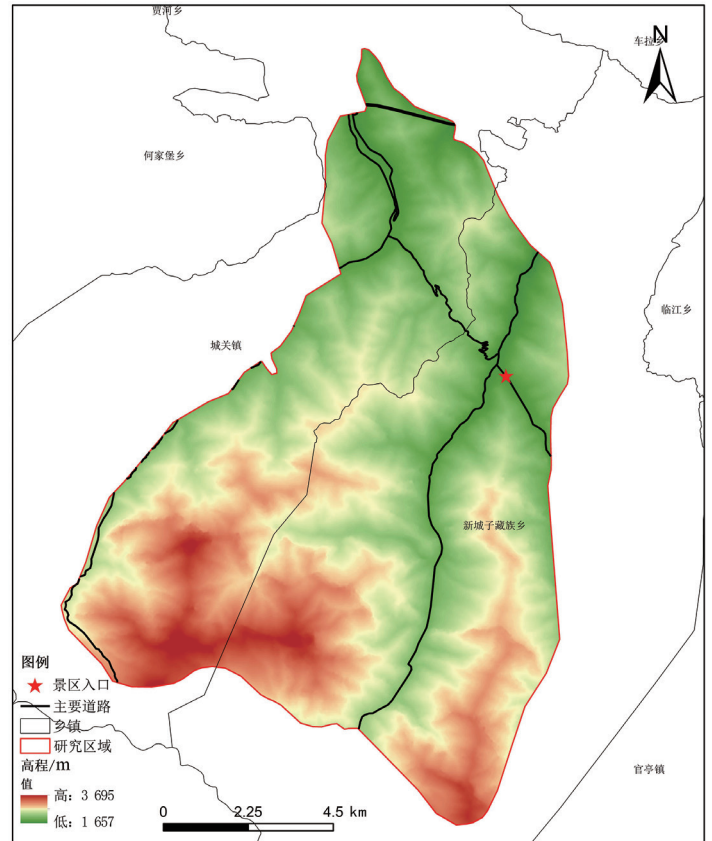


图 1 研究区域

Fig.1 Research area

级保护植物红豆杉 *Taxus wallichiana* var. *chinensis*，国家二级保护植物水青树 *Tetracentron sinense*、岷江柏木 *Cupressus chengiana* 等。园内“天外来石”等大规模地质遗迹具有极高的科研和观赏价值。公园内居住着 3 000 余名藏族和羌族居民，他们保留着独特的民族服饰和风俗习惯，这使得公园成为民俗文化旅游的重要场所。2022 年，官鹅沟国家森林公园被正式评定为国家 5A 级旅游景区。然而，伴随索道建设及游客激增，公园内已出现施工活动破坏植被、临时踩踏带及索道沿线乔灌木缺失等生态受损现象，对公园的生态环境进行监测与修复刻不容缓。

2 研究方法

2.1 数据来源及处理

数据包括道路缓冲区、高程、坡度、坡向、土地利用、水域缓冲区、植被覆盖率等。数据类型主要为栅格数据。其中，道路和河流数据来源于开放街道地图平台（Open Street Map, OSM）；土地利用数据利用“哨兵 2 号”（Sentinel-2）影像进行分类和提取；植被覆盖率使用 landsat 8 数据进行计算；高程数据源自日本宇宙航空研究所（JAXA）的高级陆地观测卫星-1（Advanced Land Observing Satellite-1, ALOS），具体为 ALOS 的 PALSAR 传感器生成的 12 m 分辨率地形数据。在本研究中，统一采用 2022 年的 TIF 文件作为主要的空间数据源，使用 12 m 分辨率的栅格数据。

栅格数据的预处理对确保分析结果的准确性和可靠性至关重要。预处理主要包括以下步骤：首先对原始栅格数据进行投影转换，再按研究区范围进行裁剪，去除无关区域，以提高计算效率。接着，通过重采样，确保研究区范围内的数据保持统一分辨率。此外，还需对数据进行去噪和校正，以降低误差。这些预处理措施能够显著提升数据质量，为生态敏感性分析奠定坚实基础。

2.2 选取敏感因子与等级划分

鉴于生态系统所固有的复杂性和综合性特质^[11-12]，为降低评价指标之间的相关性，本研究通过实地调研，首先筛选出对研究结果影响显著的生态要素和人类活动影响因子，再参照现有的森林公园生态敏感性研究成果^[13-17]，最终确定道路缓冲区、高程、坡度、坡向、水域缓冲区、植被覆盖率、土地利用类型 7 个关键生态因子作为评价指标。

把单因子数据进行统一矢量化后，本研究将生态敏感性划分为低度敏感、较低敏感、中度敏感、中高敏感和高度敏感 5 个等级^[4]，分别对应分数 1、2、3、4、5（表 1）。

2.3 评价因子权重的构建及一致性检验

本研究利用 AHP 法构建了评价因子的对比矩阵，并通过对这些矩阵的比较分析来确定最优选项，进而计算出各个评价因子的权重值（表 2）。接着对结果进行一致性检验，计算得出组合信度 $CR=0.091\ 2$ （小于 0.1），表明研究所使用的判断矩阵通过一致性检验，计算所得权重值具有一致性。

在生态敏感性评价因子中，坡度的权重值居首，其直接关乎土壤侵蚀与生态稳定，高坡度区域存在土壤侵蚀风险高、植被恢复能力弱且地质灾害多发等状况，生态脆弱性显著。植被覆盖率的权重值居次，其对水源涵养、土壤保持等生态功能极为关键，高植被覆盖率能有效降低生态敏感性。而高程和水域缓冲区的权重居中，土地利用、坡向与道路缓冲区

表 1 生态敏感性评价因子分类

Tab.1 Classification of ecological sensitivity evaluation factors

编号	生态敏感因子	类别	生态敏感度	等级值
1	道路缓冲区 /m	[0, 50]	高度敏感	5
		(50, 100]	中高敏感	4
		(100, 200]	中度敏感	3
		(200, 300]	较低敏感	2
		>300	低度敏感	1
2	高程 /m	(2 800, 3 124]	高度敏感	5
		(2 600, 2 800]	中高敏感	4
		(2 400, 2 600]	中度敏感	3
		(2 200, 2 400]	较低敏感	2
		[1 950, 2 200]	低度敏感	1
3	坡度 /°	>60	高度敏感	5
		(45, 60]	中高敏感	4
		(30, 45]	中度敏感	3
		(15, 30]	较低敏感	2
		[0, 15]	低度敏感	1
4	坡向	正北	高度敏感	5
		东北、西北	中高敏感	4
		正东、正西	中度敏感	3
		东南、西南	较低敏感	2
		正南、平地	低度敏感	1
5	水域缓冲区 (与水域的距离 /m)	[0, 100]	高度敏感	5
		(100, 200]	中高敏感	4
		(200, 500]	中度敏感	3
		(500, 1 000]	较低敏感	2
		>1 000	低度敏感	1
6	植被覆盖率 /%	极稀疏, [0, 20]	高度敏感	5
		稀疏, (20, 40]	中高敏感	4
		较少, (40, 60]	中度敏感	3
		适中, (60, 80]	较低敏感	2
		茂密, (80, 100]	低度敏感	1
7	土地利用类型	林地	高度敏感	5
		灌木林地	中高敏感	4
		草地	中度敏感	3
		耕地	较低敏感	2
		建设用地	低度敏感	1

的权重最低。据此，将坡向、道路缓冲区和土地利用划为弱敏感因子，高程和水域缓冲区划分为中敏感因子，坡度与植被覆盖率则划分为高敏感因子。该权重设置综合自然与人类因素，可精准识别生态脆弱区，为生态保护提供依据。

2.4 空间叠加分析

采用 ArcGIS 软件进行空间分析，对 7 个生态敏感因子

的权重进行叠加处理，最终绘制出研究区域的生态敏感性综合分析图（图 2~3）。

3 结果与分析

3.1 单因子生态敏感度评价与分析

3.1.1 坡度分析

坡度显著影响研究区域植被的生长和分布。该公园年降水量 638.8 mm，属半湿润气候，但降水在不同坡度和海拔的分布不均，尤其在陡坡区域，尽管降水集中，但地表径流强，水分难以保持。同时，该区域年平均风速 3 m/s，陡坡区域风速更大，加速了水分蒸发。此外，高海拔陡坡地区昼夜温差大、气温低，不利于植被生长。恶劣的气候条件和水分、养分保持能力不足，限制了植被生长，提高了这些区域的生态敏感性 [18~19]。

从坡度因子上看，研究区域的高度敏感区主要分布在南部山区，具有高土壤侵蚀风险和低生态系统稳定性；中高敏感区主要环绕高敏感区分布；中度敏感区分布广泛，主要分布在中部和南部的丘陵地带；较低敏感区主要分布在东部和东北部；低度敏感区主要分布在北部的平缓地带（图 2-a）。研究区域整体坡度平缓，敏感性变化显著区域集中在中南部。中度敏感区和较低敏感区的分布面积大，分别占 46.95% 和

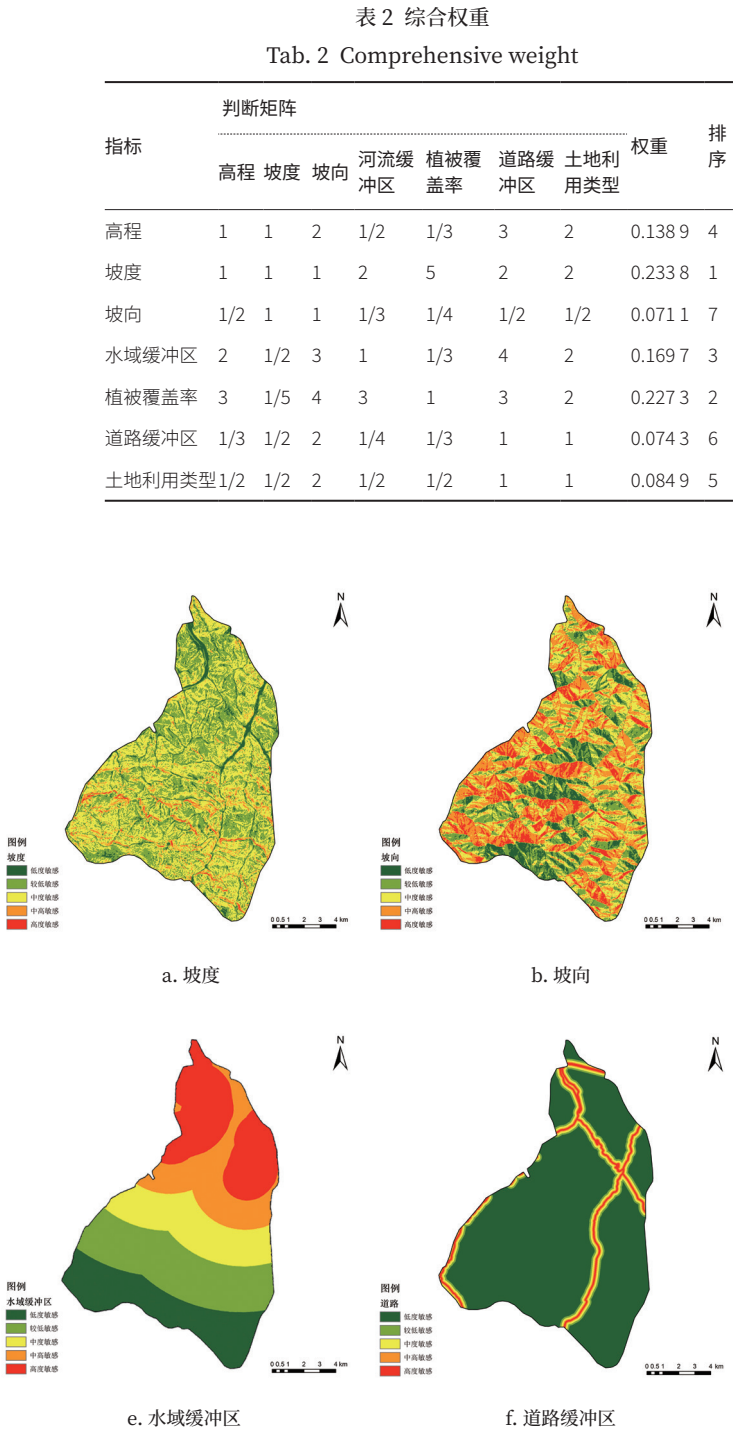


图 2 单因子生态敏感分布图

Fig. 2 Single factor ecological sensitivity distribution map

39.94%；其次为低度敏感区和中高度敏感区，分布面积占比均为 6% 左右，高度敏感区的分布面积最小，占比仅为 0.84%（表 3）。

3.1.2 坡向分析

坡向显著影响山地生态，由其产生的日照、温度和降水条件的差异，导致了植被分布和生长状况的差异^[20]。坡向是决定山地植被分布的关键生态因素。在北半球，南向坡（含平地）日照长、辐射强，喜光植物快速生长，植被盖度高、群落结构相对单一，对外部干扰的缓冲能力较强，生态敏感性较低；而北向坡日照短、辐射弱，形成以耐阴植物为主的复杂群落，一旦破坏恢复缓慢，生态敏感性最高。

在研究区内，坡向因子的中高度敏感区、中度敏感区和较低敏感区的分布面积较大，分别占 28.55%、27.76 % 和 21.77%，且分布广泛。高度敏感区和低度敏感区面积小，分别仅占 13.10% 和 8.82 %（表 3），高度敏感区分布较为分散，低度敏感区多分布于中部地区（图 2-b）。

3.1.3 高程分析

海拔升高导致生态系统多样性减少，敏感性增加。研究区域地形南高北低，由断层分为 3 个区域，海拔递减，南部高耸，北部为低山峡谷。其“两谷夹一梁”的地形结构从西北向东南倾斜，增加了土壤侵蚀和地质灾害风险，提高了生态敏感性。地形变化对局部气候和生境多样性产生影响，进而影响植被分布和生态稳定性。陡坡区域植被恢复能力弱，但易受干扰；沟谷地带水分条件好，生态稳定性较高。

高程各敏感区按分布面积从大到小排列依次为低度敏感区、高度敏感区、较低敏感区、中度敏感区和中高敏感区（表 3）。较低敏感区和低度敏感区主要分布在中部和北部；中度敏感区、中高敏感区和高度敏感区主要分布在南部和西南部（图 2-c）。

3.1.4 植被覆盖率分析

植被覆盖率能反映地区的植被状况和水土流失风险。高植被覆盖率有助于减少土壤侵蚀，增强水源涵养和土壤保持能力。植被覆盖度高的区域，生态稳定性较好，而生态敏感性较低。研究区域的植被覆盖率高，显示出较高的生态稳定

性和良好的生态服务功能。其植被覆盖率的高度敏感区和低度敏感区较少，分别仅占 0.80% 和 0.01%，主要集中在北部和西南部；而较低敏感区和中度敏感区的总面积占比超过九成；中高敏感区占 5.26 %，主要集中在南部（表 3，图 2-d）。

3.1.5 水域缓冲区分析

水域缓冲区在保护水资源、维护生态平衡和促进环境可持续性方面发挥着重要作用。通过科学管理和合理规划，可以最大限度地发挥缓冲区的功能，实现水域生态系统的长期健康和稳定。研究区内各敏感区按分布面积从大到小排列依次为较低敏感区、高度敏感区、低度敏感区、中度敏感区、中高敏感区，各区面积占比分布在 16.01%~24.80%，较为均衡；敏感度从东北向西南递减（表 3，图 2-e）。

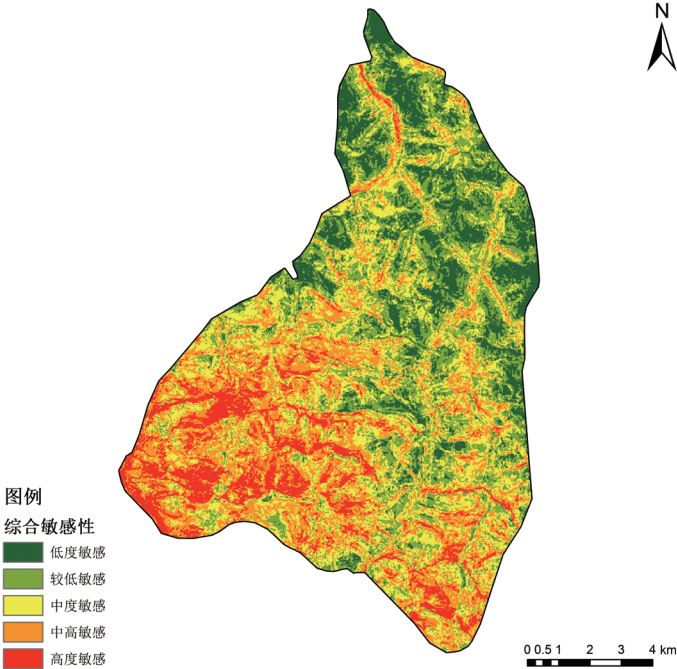


图 3 综合生态敏感性分布图
Fig.3 Comprehensive ecological sensitivity distribution map

表 3 单因子生态敏感性分级面积及占比
Tab.3 Single factor ecological sensitivity grading area and proportion

生态因子	低度敏感性		较低敏感性		中度敏感性		中高敏感性		高度敏感性	
	面积 /km ²	占比	面积 /km ²	占比	面积 /km ²	占比	面积 /km ²	占比	面积 /km ²	占比
坡度	8.85	6.04%	58.56	39.94%	68.84	46.95%	9.14	6.23%	1.23	0.84%
坡向	12.93	8.82%	31.92	21.77%	40.70	27.76%	41.86	28.55%	19.21	13.10%
高程	45.86	31.28%	26.27	17.92%	22.47	15.33%	19.26	13.14%	32.76	22.34%
植被覆盖率	0.01	0.01%	51.52	35.14%	86.21	58.80%	7.71	5.26%	1.17	0.80%
水域缓冲区	29.76	20.30%	36.36	24.80%	24.69	16.84%	23.47	16.01%	32.34	22.06%
道路缓冲区	124.77	85.10%	6.57	4.48%	6.96	4.75%	3.87	2.64%	4.45	3.04%
土地利用	0.82	0.56%	10.60	7.23%	47.91	32.67%	0.81	0.55%	86.48	58.99%

3.1.6 道路缓冲区分析

研究区域的道路主要沿着山谷的走向布局。道路缓冲区的各敏感区按照分布面积从大到小排列依次为低度敏感区、中度敏感区、较低敏感区、高度敏感区、中高敏感区（表 3）。低敏感区的占比为最大，超过八成；而公园的内部靠近道路的区域敏感性较高（图 2-f）。

3.1.7 土地利用类型分析

研究区域的土地利用类型主要为林地、灌木林地、草地、耕地、建设用地 5 类。公园的高度敏感区域大部分分布在中部和南部，面积占比为 58.99%；中度敏感区主要分布在东北部，面积占比为 32.67 %；中高敏感区主要分布在北部，占比为 0.55 %；低度敏感区和较低敏感区主要分布于建设用地与交通过地，对外界干扰的缓冲能力较强，分别占总面积的 0.56 % 和 7.23 %（表 3，图 2-g）。

3.2 综合敏感度分析

基于综合敏感性分析结果（表 4，图 3），根据《生态保护红线监管技术规范保护成效评估》（HJ 1143—2020），可得研究区域被划分为高度敏感和中高敏感的区域符合Ⅱ类红线区标准^①，分别占总面积的 11.02 % 和 23.32 %。这些区域主要集中在园区南部和西南部，其中广泛分布着林地和水体，树木繁茂，具有较高的植被覆盖率。

中度敏感区主要集中在中下部地区。该区域作为缓冲区，生态恢复速度相对较慢，对人类活动的干扰有一定的容忍度。中度敏感区的土地利用类型主要是草地和灌木林地，总体分布较为均匀。

低度敏感区和较低敏感区主要分布在北部和东北部，共占总面积的 38.28%。该区域的地形相对平坦，主要由城郊地区和农村居民区构成，其土地利用类型多为林地、耕地和荒草地等。

4 不同生态敏感区的用地策略及建议

依据研究区域生态敏感性综合分布图，秉持因地制宜、科学规划、适地适树以及生态保护的基本原则，将高度敏感

区、中度敏感区和低度敏感区依次规划为生态保育区、适度开发区和生态旅游发展区。这一“分区管控，分级保护”策略有助于增强生态环境的稳定性，并推动生态环境的持续改善。

公园的高敏感性和中高敏感性区域共占总面积的 34.34 %，主要分布在森林的较深处且距离登山入口较远，受人为干扰程度较低。因此，建议将该区域划为森林生态保育区，实施严格保护，禁止破坏性行为，限制人类活动、旅游开发及基础设施建设。此外，应开展植树造林和植被恢复工程，提升生态系统稳定性，增强自我修复能力，并建立长期生态监测体系，定期评估生态健康，及时发现并解决问题。具体措施包括：在鹿仁沟、鹅漫沟两条游步道末端增设生态闸门，仅允许科研人员与巡护人员持证进入；公众游览止步于现栈道终点，并设置藏汉双语警示牌，明确禁止采摘植物、翻越护栏、露营野炊等行为；建立生态监测站点，定期采集土壤、水质和植被数据；引入遥感技术进行大范围生态监测，采用“无人机周巡 2 次 + 护林员日巡 1 次”双轨模式，实时回传影像；与科研机构合作，开展生态系统健康评估研究，为生态修复提供科学依据；按季度采集土壤有机质、枯落物厚度及鸟类多样性数据，形成年度生态健康报告。

中敏感性区域适合进行适度开发。在其开发过程中应加强生态监测，确保生态系统健康，并以生态保护为基础，科学开发旅游资源，促进生态旅游与康养旅游协同发展。开发内容涵盖民俗文化体验、自然教育活动等多元化旅游产品。这些区域的经济发展项目需要有计划地进行，以确保生态平衡和可持续发展。具体措施包括：依托鹿仁、立界等藏族聚落，可系统植入羌绣、藏式面具雕刻及酥油茶手作等非遗体验项目，引导访客深度参与社区文化再生产；借助林线木栈道空间，开发“扫码植物侦探”与“五感森林疗养”研学课程，由经官方认证的本地生态向导团队（上限 60 人）进行讲解与陪同，日游客承载力控制在 500 人次以内。同时，将旅游净收益的 15% 注入“社区共管基金”，专项用于垃圾清运与植被巡护，形成“生态-文化-经济”协同增益的良性循环。

低敏感性和较低敏感性区域占总面积的 38.28%，呈现地势平坦、植被覆盖度低以及土地利用以人工景观为主的特征。其土地利用多样，生态稳定性强，环境质量佳，对外界干扰有较高容忍度。在开发过程中，可在遵循生态保护原则的基础上适度放宽保护限制，实施合理开发策略。建议以生态保护为依托，发展森林康养生态旅游，建造康养设施——建设 20 座森林木屋，实现屋顶绿化率不少于 60%，生活污水全收集处理后回用；打造植物观赏园、森林步道等特色景观，进一步提升区域生态质量和可持续性。具体措施包括：制定详细的土地利用规划，明确各类用地的比例和布局；引入生态友好型农业和林业项目，在鹿仁村退耕地内打造林下中药材（党参、黄芪）科普园，配套 800 m 环形木栈道及藏汉双语解说牌，供游客体验“药香小径”并扫码学习种植

表 4 官鹅沟国家森林公园生态敏感性综合评价结果

Tab.4 Comprehensive evaluation results of ecological sensitivity of Guan 'egou National Forest Park

敏感等级	面积 /km ²	占比
低敏感性	18.89	12.88%
较低敏感性	37.24	25.40%
中敏感性	40.14	27.38%
中高敏感性	34.19	23.32%
高度敏感性	16.16	11.02%

① 其占比根据地方生态敏感性评估结果动态确定。根据甘肃红线的实际应用，二类区占区域面积的 1.5%~87%。

知识；提高土地利用效率；建立生态补偿机制，鼓励当地居民参与生态保护。

这些策略以分析结果为基础，致力于提升生态环境的稳定性，促进生态保护与经济发展的协同共进，展现出较强的实用性和指导价值，为研究区域的生态保护提供了坚实的科学依据。

5 结论

本研究借助 ArcGIS 平台搭建可靠的评价模型，对研究区域开展生态敏感性分析。该公园的生态敏感性分布具有显著的分级特点，敏感度在总体上呈从南向北递减；低敏感区、较低敏感区及中度敏感区的面积占比之和达到 65.66%，显示出该公园生态系统整体较为稳定。基于评价结果，将高度敏感区、中度敏感区和轻度敏感区依次规划为生态保育区、适度开发区和生态旅游发展区，在高度敏感区域严格限制人类活动，在中低敏感区域遵循生态保护原则进行适度旅游开发，从而实现生态保护与旅游开发的协调发展。

本研究建立的生态敏感性评价指标体系融合了自然生态要素（如地形、植被）与人类活动影响因素（如土地利用类型），构建了多维度分析框架，能够较全面揭示区域生态系统的脆弱性和敏感性特征；且本研究结合研究区域的区域特性，聚焦于地形和植被覆盖率对生态敏感性的影响，提升了指标体系的针对性，故而得出的研究结果对研究区域的生态保护和管理具有重要参考意义。同时，此评价体系可结合当地具体地形、植被覆盖特征以及管理目标，经适当调整和优化评价因子及其等级阈值，即可适用于其他同类型山地型森林公园。

然而，本研究的指标体系构建仍存在不足：土地利用类型指标划分不够精细，未充分反映差异化影响；未纳入旅游干扰因子，而官鹅沟国家森林公园是热门旅游地，旅游活动对其生态环境影响显著。这些因素可能影响评价结果的精确性和适用性。未来研究应细化土地利用类型指标，纳入旅游干扰因子，结合长期生态监测数据动态评估生态敏感性变化，提升评价体系的科学性和实用性，并将其应用于其他山地型森林公园，验证普适性和适应性，为更多区域生态保护和规划提供参考。同时，深入研究生态敏感性与生态系统服务关系，为生态保护与旅游开发平衡提供更全面科学依据。

注：图片均由作者自绘。

参考文献：

[1] 谢琼, 黄淑凡. 基于游客感知的阳朔县乡村康养旅游需求调查研究[J]. 山西农经, 2023 (18) : 92-95.
[2] MCHARG I L. Design with nature[M]. New York: Natural History Press, 1969.
[3] 张德顺, 杨韬. 应对生态保育规划的风景区生态资源敏感性分析——基于生态资源评价结果[J]. 中国园林, 2018, 34 (2) : 84-88.
[4] 鲁敏, 穆回港, 谭蕾, 等. 基于 GIS 的济西国家湿地公园生态敏

感性评价[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2022, 52 (12) : 95-103.
[5] 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.
[6] 邱雯, 唐必成. GIS 及层次分析法的南平凤山森林公园生态敏感性评价[J]. 武夷学院学报, 2023, 42 (12) : 34-39.
[7] 赵玉洁, 刘霄. 基于 GIS 技术的白鹭湾湿地公园生态敏感性研究[J]. 四川林业科技, 2024, 45 (5) : 92-98.
[8] 刘佳, 唐红, 刘文兰. 甘肃石佛沟国家森林公园生态敏感性分析[J]. 国土与自然资源研究, 2024 (6) : 63-68.
[9] 杨泽鹏, 李惠芳, 卢福山, 等. 基于 GIS 的红河哈尼族彝族自治州生态敏感性评价[J]. 山东林业科技, 2024, 54 (4) : 11-19.
[10] 安阳, 徐昔保, 李景宜, 等. 生态敏感性评估研究进展评述[J]. 环境生态学, 2024, 6 (1) : 38-44, 65.
[11] 王江月. 城市河流滨岸缓冲带生态修复模式研究[J]. 黑龙江科学, 2024, 15 (22) : 157-160.
[12] 张伟, 王家卓, 任希岩, 等. 基于 GIS 的山地城市生态敏感性分析研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20 (3) : 44.
[13] 杜悦悦, 胡熠娜, 杨旸, 等. 基于生态重要性和敏感性的西南山地生态安全格局构建——以云南省大理白族自治州为例[J]. 生态学报, 2017, 37 (24) : 8241-8253.
[14] 乔育, 种培芳. 天水市生态敏感性分析研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2021, 56 (5) : 137-143, 152.
[15] 李益敏, 管成文, 郭丽琴, 等. 基于生态敏感性分析的江川区土地利用空间格局优化配置[J]. 农业工程学报, 2018, 34 (20) : 267-276, 316.
[16] 王佳利, 胡希军, 陈存友. 基于 GIS 的上杭县袍岭山地公园生态敏感性评价研究[J]. 林业资源管理, 2019 (1) : 85-92.
[17] 蒋晓威, 孙兆海, 辛玉婷, 等. 基于生态敏感性评价的山水型旅游度假区保护性开发与调控对策——以南京市国家级老山林公园东区为例[J]. 环境保护科学, 2024, 50 (1) : 50-58.
[18] 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.
[19] 李煜华, 王世航, 赵明松, 等. GIS 支持下太湖县生态敏感性分析[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版), 2024, 42 (5) : 128-131.
[20] 林莲. 国家重点生态功能区的生态敏感性评价——以贵州省剑河县为例[J]. 农业与技术, 2024, 44 (16) : 97-102.

作者简介：

闫乐 / 2000 年生 / 女 / 甘肃陇南人 / 甘肃农业大学林学院 (甘肃 730070) / 在读硕士研究生 / 专业方向为风景园林规划与设计
朱晓霞 (* 通信作者) / 1974 年生 / 女 / 陕西榆林人 / 硕士 / 甘肃农业大学林学院 (甘肃 730070) / 副教授 / 研究方向为风景园林规划与设计 / E-mail: zhuxiaoxia741107@163.com
杨辉 / 1999 年生 / 男 / 甘肃陇南人 / 甘肃农业大学林学院 (甘肃 730070) / 在读硕士研究生 / 专业方向为风景园林规划与设计