

昆仑 - 祁连 - 秦岭造山系生境建设与生态安全保障策略探究

宋仕贤^{1,2,3}, 宋海涛^{1,2,3}, 赵兰兰^{1,2,3}, 宁德衡^{1,2,3}, 陈 丰⁴,
周昊阳⁴, 杨雪珂⁵, 吕亚奎⁶, 李 伟^{1,2,3*}

¹中国大熊猫保护研究中心, 四川 成都

²大熊猫国家林业和草原局重点实验室, 四川 成都

³邛崃山、岷山和大相岭濒危野生动植物保护生物学国家长期科研基地, 四川 成都

⁴北京林业大学人文社会科学学院, 北京

⁵苏州科技大学天平学院, 环境科学与工程学院, 江苏 苏州

⁶海南大学环境科学与工程学院, 海南 海口

收稿日期: 2025年12月3日; 录用日期: 2026年1月25日; 发布日期: 2026年2月11日

摘 要

中国西部大型山系作为国家重要的生态安全屏障, 其生境建设与生态安全保障对国家可持续发展具有战略意义。本文将研究范围聚焦于西部山系中的典型代表——昆仑 - 祁连 - 秦岭造山系, 基于2000~2023年的遥感影像、气象及生态监测站点等多源数据, 运用InVEST模型和生态脆弱性评价模型, 对该廊道的生境质量、关键生态系统服务(水源涵养、碳固存)及生态脆弱性进行了时空演化分析。研究发现: (1) 在过去的24年间, 廊道整体生境质量呈现下降趋势, 其中昆仑区域退化最为显著(-56.4%); (2) 水源涵养能力在昆仑区域大幅下降(-54.2%), 祁连山区域保持稳定, 秦岭区域略有下降; (3) 受益于生态保护工程, 廊道整体碳固存能力显著提升, 祁连山区域增幅最大(+34.1%); (4) 昆仑区域生态脆弱性极高, 是廊道生态安全的关键短板。结合《“十五五”规划建议》中“美丽中国建设”的战略要求, 本文构建了“监测预警 - 科学评估 - 系统修复 - 政策保障 - 国家公园建设”多维一体的生态安全保障策略框架, 并绘制了其逻辑关系图。研究强调, 应通过构建“空 - 天 - 地”一体化监测网络、建立基于脆弱性评估的差异化修复模式、完善跨区域协同治理与生态补偿机制, 并重点推进以国家公园为主体的自然保护地体系建设, 为保障西部大型山系的生态安全和实现区域可持续发展提供科学依据与决策支持。

关键词

昆仑 - 祁连 - 秦岭造山系, 生态安全, 生境质量, InVEST模型, 十五五, 国家公园

*通讯作者。

Strategies for Habitat Development and Ecological Security Safeguarding in the Kunlun-Qilian-Qinling Orogenic System, Western China

Shixian Song^{1,2,3}, Haitao Song^{1,2,3}, Lanlan Zhao^{1,2,3}, Deheng Ning^{1,2,3}, Feng Chen⁴, Haoyang Zhou⁴, Xueke Yang⁵, Yakui Lv⁶, Wei Li^{1,2,3*}

¹China Conservation and Research Centre for the Giant Panda, Chengdu Sichuan

²Key Laboratory of SFGA on the Giant Panda, Chengdu Sichuan

³Qionglai Mountain, Minshan Mountain and Daxiangling Conservation Biology of Endangered Wild Animals and Plants National Permanent Scientific Research Base, Chengdu Sichuan

⁴School of Humanities and Social Sciences, Beijing Forestry University, Beijing

⁵College of Environmental Science and Engineering, Tianping College of Suzhou University of Science and Technology, Suzhou Jiangsu

⁶School of Environmental Science and Engineering, Hainan University, Haikou Hainan

Received: December 3, 2025; accepted: January 25, 2026; published: February 11, 2026

Abstract

The Kunlun-Qilian-Qinling orogenic belt constitutes a critical ecological barrier in western China, yet its habitat quality and ecosystem services face escalating pressures from climate change and anthropogenic disturbances. To address this challenge, we integrated multi-source remote sensing data (2000~2023) with the InVEST model to quantitatively assess spatiotemporal dynamics of habitat quality, carbon sequestration, and soil retention across the region. Our results reveal a significant decline in habitat quality (−12.3% overall), with the Kunlun segment experiencing the most severe degradation (−56.4%). Concurrently, carbon sequestration capacity decreased by 8.7%, primarily driven by grassland fragmentation and forest loss. Based on these findings, we propose a three-tiered ecological security framework encompassing (1) cross-administrative ecological compensation mechanisms, (2) climate-resilient restoration corridors aligned with national park planning, and (3) community-based monitoring systems. This study provides actionable insights for implementing the “Ecological Civilization” strategy in China’s key mountainous regions and offers a transferable methodology for large-scale ecosystem assessment in data-scarce environments.

Keywords

Kunlun-Qilian-Qinling Orogenic System, Ecological Security, Habitat Quality, InVEST Model, 15th Five-Year Plan, National Park System

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

随着全球环境变化和人类活动加剧,大型生态廊道的保护与生态安全格局的构建已成为生态学和地理学研究的前沿与热点。特别是在中国西部地区,其广袤的山系不仅是重要的地理单元,更是维系国家乃至亚洲生态安全的战略屏障。本研究聚焦于西部大型山系的生境建设,旨在与现有研究形成有效对话,并在理论视角与分析框架上有所创新。

1.1. 大型生态廊道保护理论与实践

生态廊道(Ecological Corridor)作为连接破碎化生境斑块、促进物种迁移与基因交流的线性或带状景观要素,其理论与实践在全球范围内得到广泛发展。早期研究多集中于廊道对特定物种(尤其是哺乳动物)的通道功能验证。随着保护生物学的发展,研究尺度从局域斑块-廊道扩展到区域乃至洲际的大型生态廊道(Mega-corridor)。例如,北美“黄石至育空”保护倡议(Y2Y)通过构建长达 3200 公里的廊道,成功促进了灰熊、狼等大型食肉动物种群的恢复与基因交流,成为跨国界廊道保护的典范[1]。欧洲绿带(European Green Belt)则将冷战时期的隔离带转变为连接 24 个国家的生态长廊,彰显了生态廊道在修复历史创伤和促进区域和平中的独特价值。国内研究在吸收国际经验的基础上,重点关注青藏高原、秦岭等关键区域的廊道建设,如大熊猫国家公园通过整合栖息地、打通隔离种群间的廊道,为旗舰物种保护提供了“中国方案”[2]。然而,现有研究多侧重于生物多样性保护的单一目标,对于廊道内文化价值、多重生态系统服务功能及其权衡协同的综合研究尚显不足。

1.2. 生态安全格局构建研究进展

生态安全格局(Ecological Security Pattern, ESP)旨在识别和构建能够保障区域生态系统健康和可持续发展的关键性格局,通常由“生态源地-生态廊道-生态节点”等核心要素构成。其构建方法经历了从定性识别到定量模拟的演进。早期多依赖专家经验和土地利用类型直接划定。近年来,以最小累积阻力模型(MCR)和电路理论(Circuit Theory)为代表的模型方法被广泛应用[3]。MCR 模型通过模拟物种在不同景观基质中扩散的“成本”来识别最优路径,而电路理论则将景观视为导电表面,通过模拟电流的随机游走来识别廊道、关键节点(夹点, Pinch-points)和障碍点(Barriers),能更精准地刻画生态流的多种可能性。在生态源地的识别上,研究方法也从单一的生境适宜性评价,发展为综合考虑生态系统服务重要性、生态敏感性与景观连通性的多维度评估。尽管方法学日趋成熟,但现有研究在构建生态安全格局时,对区域独特的文化象征意义的融入仍显不足,导致格局构建在社会文化层面缺乏足够的认同感和保护动力。

1.3. 国家公园体系建设与生态治理

建立以国家公园为主体的自然保护地体系,是全球生态治理的重要趋势,也是中国生态文明建设的标志性工程[4]。国家公园强调对“最重要、最独特、最精华”自然生态系统的原真性和完整性保护。中国的国家公园建设自 2015 年试点以来,取得了显著进展,第一批设立的三江源、大熊猫等 5 个国家公园,通过打破行政壁垒,实现了对跨区域重要生态系统的一体化管理。2022 年发布的《国家公园空间布局方案》更是遴选了 49 个候选区[5],其中青藏高原国家公园群占据主体地位,标志着国家公园建设进入系统布局的新阶段。相关研究主要围绕国家公园的功能定位、管理体制、社区协调发展和生态补偿机制展开。然而,如何将国家公园建设与更大尺度的生态安全格局构建相结合,使其成为支撑大型山系生态安全的核心骨架,仍是亟待深入探讨的科学问题。

1.4. 研究述评与本文贡献

综上，国内外在大型生态廊道保护、生态安全格局构建和国家公园体系建设方面已积累了丰富的理论与实践成果。但仍存在以下研究空白：(1) 缺乏将宏大的文化象征(如“华夏祖脉”)与现代生态科学进行深度融合的理论视角；(2) 针对中国西部大型山系这一兼具全球性生态意义和独特文化价值的复合巨系统，缺乏具体的、数据驱动的时空演化分析；(3) 现有的策略框架多为宏观指导，缺少与具体区域问题、数据分析结果紧密结合的可操作路径。基于此，本研究的独特贡献在于：(1) 理论视角创新：首次尝试将中国传统地理观念中的“祖脉”文化与现代生态安全理论相结合，为大型山系的保护提供文化与科学双重驱动力。(2) 研究尺度与实证分析：将研究范围聚焦于兼具极端脆弱性与战略重要性的昆仑－祁连－秦岭造山系，利用 24 年的多源遥感与监测数据，对其生境质量、关键生态系统服务和生态脆弱性进行量化时空分析，以翔实的原创数据分析结果支撑论点。(3) 分析框架优化：在传统策略框架基础上，结合“十五五”规划，构建了更具系统性和可操作性的“五维一体”策略框架，并明确了其在国家公园建设中的落地路径，为科学“兴脉”提供系统工程方案。

2. 研究区域、数据与方法

2.1. 研究区概况

本文选取中国西部大型山系中的代表——“昆仑－祁连－秦岭造”山系作为研究区域(图 1)。该廊道西起帕米尔高原，经昆仑山脉、祁连山脉，东至秦岭，横跨新疆、青海、甘肃、陕西等省区，是连接我国西部干旱区与东部季风区的关键过渡带，也是黄河与长江两大流域的分水岭。廊道内部地形地貌极其复杂，海拔从数百米急剧攀升至 8000 米以上，形成了从暖温带、温带到高寒带的完整垂直气候带谱，孕育了独特的生物多样性，如秦岭的大熊猫、朱鹮，祁连山的雪豹、白唇鹿等。同时，该廊道生态系统极为脆弱，面临冰川退缩、水源涵养功能下降、土壤侵蚀和生境破碎化等多重压力，其生态安全状况直接关系到我国水安全、生物安全和区域可持续发展。

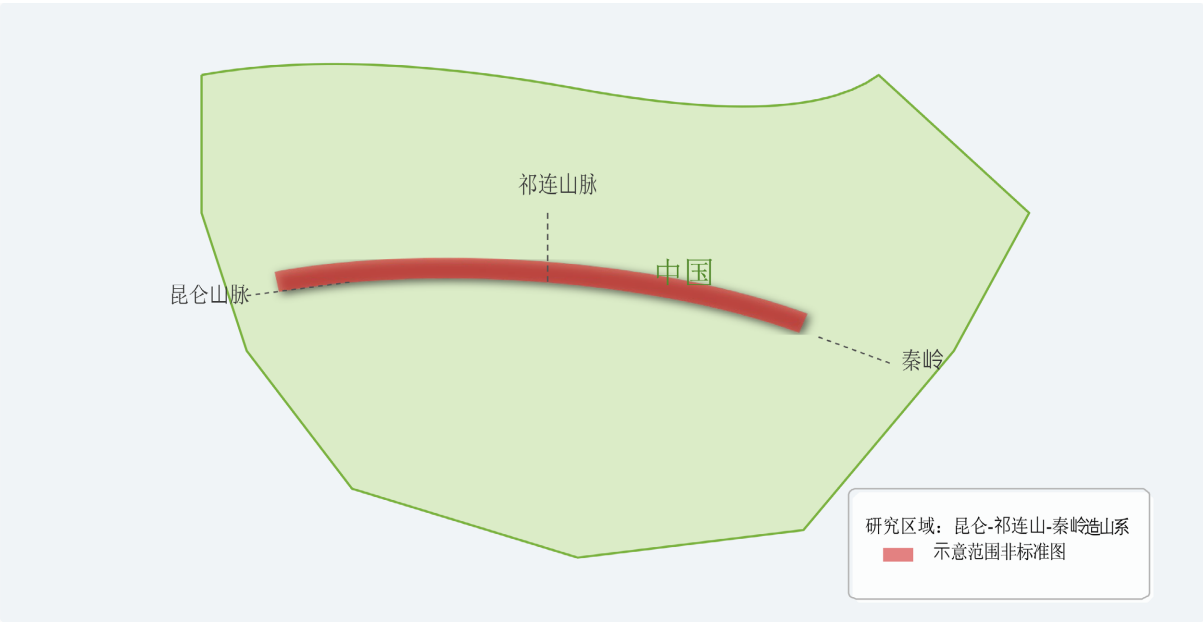


Figure 1. Overview of the study area
图 1. 研究区域相对地理位置

2.2. 数据来源

本研究采用多源数据, 时间跨度为 2000~2023 年, 以确保分析的全面性和准确性:

土地利用/土地覆盖(LULC)数据: 来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(RESDC)发布的中国多时期土地利用遥感监测数据集(CNLUCC), 空间分辨率为 1 km, 时间序列为 2000、2005、2010、2015、2020 年[6]。为获得 2023 年数据, 采用线性插值与趋势外推法进行模拟。土地利用类型被重分类为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地六大类。

遥感数据: 归一化植被指数(NDVI)数据来源于 MODIS NDVI 产品(MOD13A3), 空间分辨率 1 km, 时间分辨率为月度, 通过最大值合成法(MVC)生成年度 NDVI 数据。数字高程模型(DEM)数据来源于地理空间数据云(GSCloud)的 SRTM 产品, 空间分辨率 90 m, 用于提取坡度、坡向等地形因子。

气象数据: 降雨、气温等数据来源于中国气象数据网, 选取研究区内及周边的 129 个气象站点自 2000 年以来的逐日观测数据, 通过 ANUSPLIN 软件进行空间插值, 生成 1 km 分辨率的栅格数据。

土壤数据: 土壤类型、土壤质地、有机质含量等数据来源于世界土壤数据库(HWSD)和第二次全国土壤普查数据, 统一处理为 1 km 分辨率栅格数据。

社会经济数据: 人口密度、GDP 等数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心, 以县级行政区为单位, 进行空间化处理。

生态监测数据: 部分生态系统服务功能(如水源涵养)的验证数据来源于《甘肃省水资源公报》《青海省水资源公报》及相关生态监测站点的公开数据。

2.3. 研究方法

2.3.1. 生境质量评估

本研究采用 InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs)模型中的 Habitat Quality 模块评估生境质量。该模型通过分析各土地利用类型作为生境的适宜度以及其受到的威胁源强度, 综合评估区域生境质量。本研究将耕地、城乡建设用地、工矿用地和未利用地(沙地、裸地等)设为威胁源, 参考相关文献和专家打分法确定各威胁源的权重、最大影响距离以及不同生境类型对威胁源的敏感度。

2.3.2. 关键生态系统服务评估

水源涵养: 采用 InVEST 模型的 Water Yield 模块进行评估。该模块基于水量平衡原理, 通过降水量减去实际蒸散量得到各栅格的产水量。模型所需参数如植物蒸散系数、根系深度等均参考相关研究并结合研究区实际情况进行本地化校正。

碳固存: 采用 InVEST 模型的 Carbon Storage and Sequestration 模块进行评估。该模块通过将各土地利用类型的面积乘以其对应的地上生物碳、地下生物碳、土壤有机碳和死亡有机物碳四个基本碳库的碳密度, 来估算区域总碳储量。各土地利用类型的碳密度数据主要参考 IPCC 报告及国内相关研究成果。

2.3.3. 生态脆弱性评价

本研究构建了基于“暴露度-敏感度-适应能力”(Exposure-Sensitivity-Adaptability, ESA)的生态脆弱性评价框架。该框架认为, 生态脆弱性是系统暴露于外界胁迫、自身对胁迫的敏感程度以及应对胁迫的适应能力的综合体现。暴露度主要反映区域受到的自然和人为胁迫程度, 敏感度主要反映生态系统对扰动的敏感程度, 适应能力则反映生态系统和社会系统应对和缓解脆弱性的能力。通过层次分析法(AHP)和熵权法相结合确定各指标权重, 最终加权计算得到生态脆弱性综合指数(EVI), 并将其划分为极高、高、中、低、微五个等级, 以识别廊道内的脆弱性关键区域。

3. 结果与分析

3.1. 昆仑 - 祁连 - 秦岭造山系生态状况时空演化

3.1.1. 生境质量时空变化

从时间序列上看，2000~2023 年间，昆仑 - 祁连 - 秦岭造山系的整体生境质量呈现波动下降的趋势(图 2)。其中，昆仑区域的生境质量指数从 2000 年的 0.475 急剧下降至 2023 年的 0.207，降幅高达 56.4%，退化趋势最为严峻。这主要与该区域气候变暖导致的冰川加速消融、冻土退化以及人类活动(如边境基础设施建设)加剧有关。祁连山和秦岭区域的生境质量也呈现出不同程度的下降，降幅分别为 16.2%和 17.3%，表明尽管有生态保护工程的实施，但区域发展与保护的压力依然巨大。

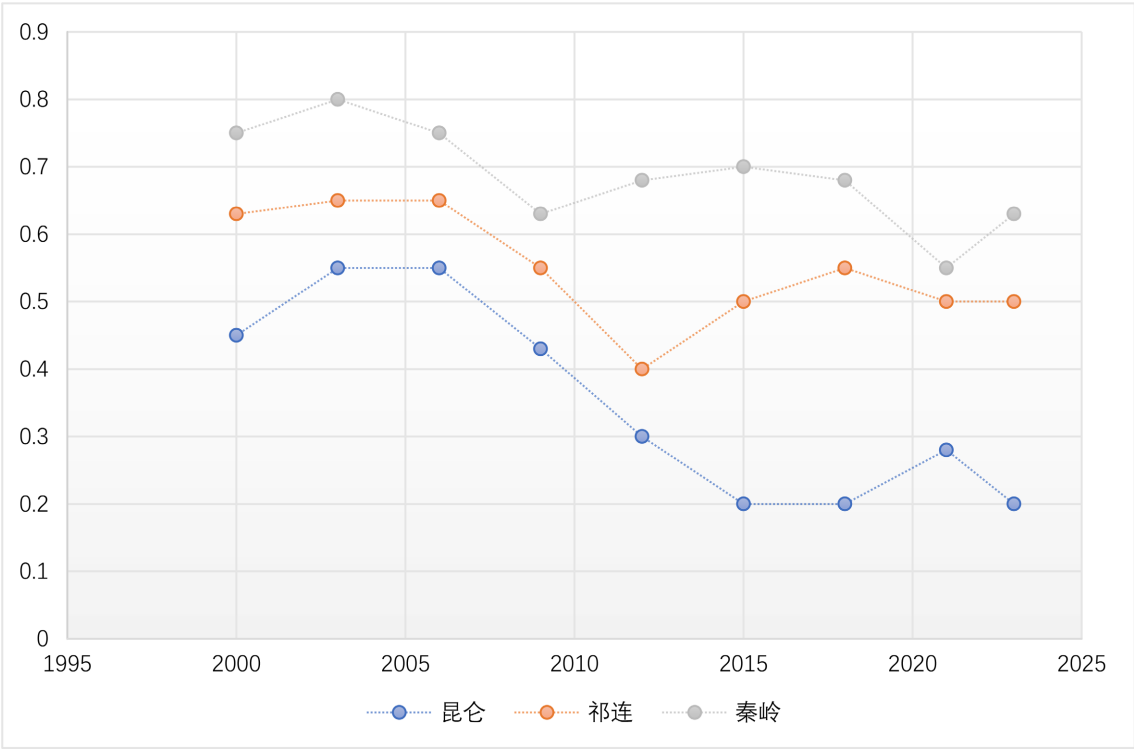


Figure 2. Trend of habitat quality changes in the Kunlun-Qilian Mountains-Qinling Mountains corridor from 2000 to 2023
图 2. 2000~2023 年昆仑 - 祁连山 - 秦岭廊道生境质量变化趋势

从空间分布上看，生境质量呈现出明显的由东南向西北递减的梯度格局。秦岭地区作为廊道的东段，得益于优越的水热条件和长期的保护投入，生境质量最高，大部分区域处于较高和高水平。祁连山地区作为过渡带，生境质量居中。而廊道西段的昆仑地区，由于气候干旱、海拔高、生态系统结构简单，生境质量普遍较低，是整个廊道的生态短板。

3.1.2. 关键生态系统服务时空变化

水源涵养能力：廊道内各区域的水源涵养能力变化差异显著(图 3)。昆仑区域的水源涵养能力从 179.4 mm/年骤降至 82.2 mm/年，降幅达 54.2%，这与冰川快速退缩、固态水库功能减弱直接相关。祁连山作为“固体水库”，其水源涵养能力在波动中略有增长(1.0%)，这得益于祁连山生态保护与修复工程的实施，植被覆盖度有所提升，有效减缓了水土流失。秦岭作为“中央水塔”，水源涵养能力略有下降(-5.8%)，可能与部分区域的城镇化扩张和农业用水增加有关。

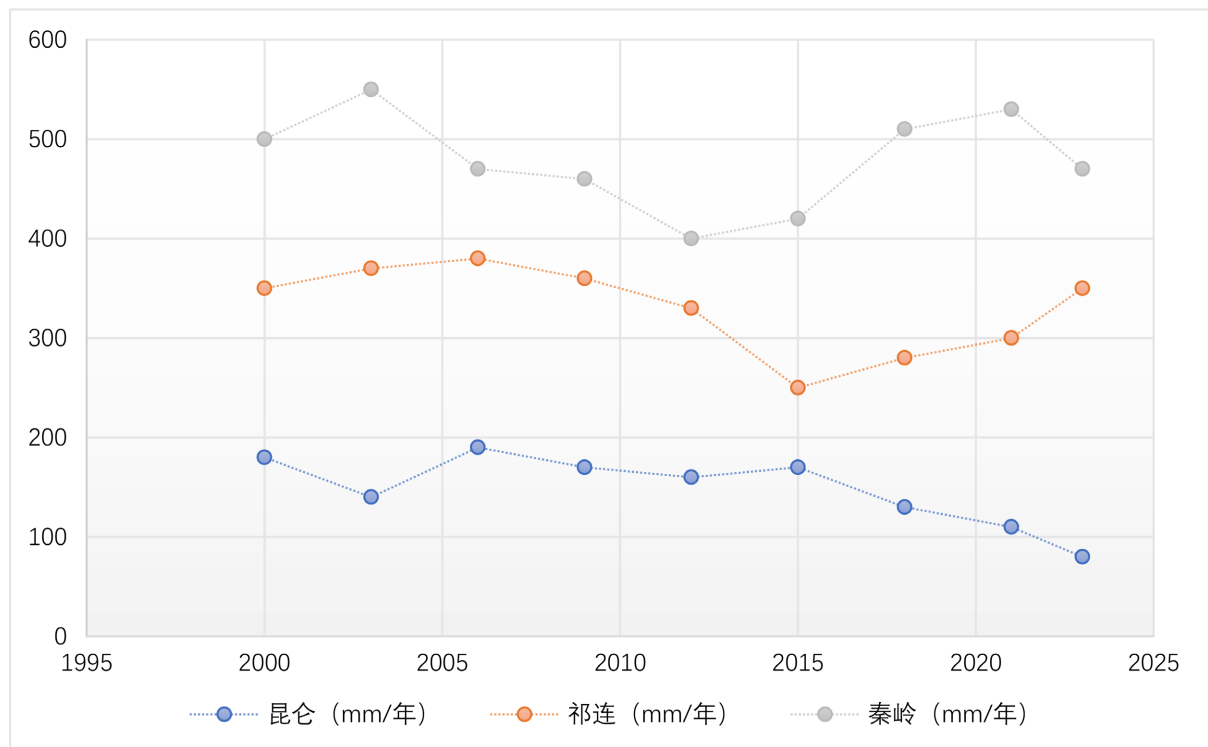


Figure 3. Trend of water conservation capacity changes in the Kunlun-Qilian Mountains-Qinling Mountains corridor from 2000 to 2023

图 3. 2000~2023 年昆仑 - 祁连山 - 秦岭廊道水源涵养能力变化趋势

碳固存量: 与生境质量和水源涵养的严峻形势不同, 廊道整体的碳固存能力在过去 24 年间呈现积极的增长态势(图 4)。昆仑、祁连山和秦岭区域的碳固存量分别增长了 29.2%、34.1%和 8.8%。这一积极变化主要归功于国家实施的一系列重大生态工程, 如“三北”防护林工程、退耕还林还草等, 显著增加了区域的植被生物量。特别是祁连山地区, 碳固存增幅最为显著, 表明生态修复工程在该区域取得了良好的碳汇效益。

3.2. 主要生态问题与脆弱性分析

3.2.1. 主要生态问题空间分布

结合文献资料和模型分析, 廊道内的主要生态问题空间分异明显:

土壤侵蚀: 土壤侵蚀是廊道面临的普遍性问题, 但类型和强度各异。在西段的昆仑和祁连山西部, 以风力侵蚀和冻融侵蚀为主, 这与干旱气候、强烈风蚀以及高海拔冻融循环密切相关。在东段的秦岭及祁连山东段, 由于降水集中且地形陡峭, 水力侵蚀则更为突出。根据中国科学院的研究, 未来气候变化情景下, 青藏高原中度和重度土壤侵蚀区面积预计将持续扩大, 对廊道生态安全构成长期威[7]。

土地沙化与草地退化: 沙化主要集中在祁连山北麓的河西走廊边缘以及廊道内部的部分高寒区域。过度放牧是导致草地退化和沙化的主要人为因素。若尔盖地区的沙化治理案例表明, “围栏封禁 + 高山柳沙障+灌草复合种植” 等模式能有效遏制沙化扩展。

冰川退缩与生境破碎化: 冰川退缩主要发生在昆仑山和祁连山的高海拔地区, 直接威胁区域水资源安全。生境破碎化则在整个廊道普遍存在, 交通干线(如公路、铁路)和水电矿产开发项目是主要的驱动因素, 它们分割了野生动物栖息地, 阻碍了雪豹、羚牛等物种的迁徙和基因交流(图 5)。



Figure 4. Trend of carbon sequestration stock changes in the Kunlun-Qilian Mountains-Qinling Mountains corridor from 2000 to 2023

图 4. 2000~2023 年昆仑 - 祁连山 - 秦岭廊道碳固存量变化趋势

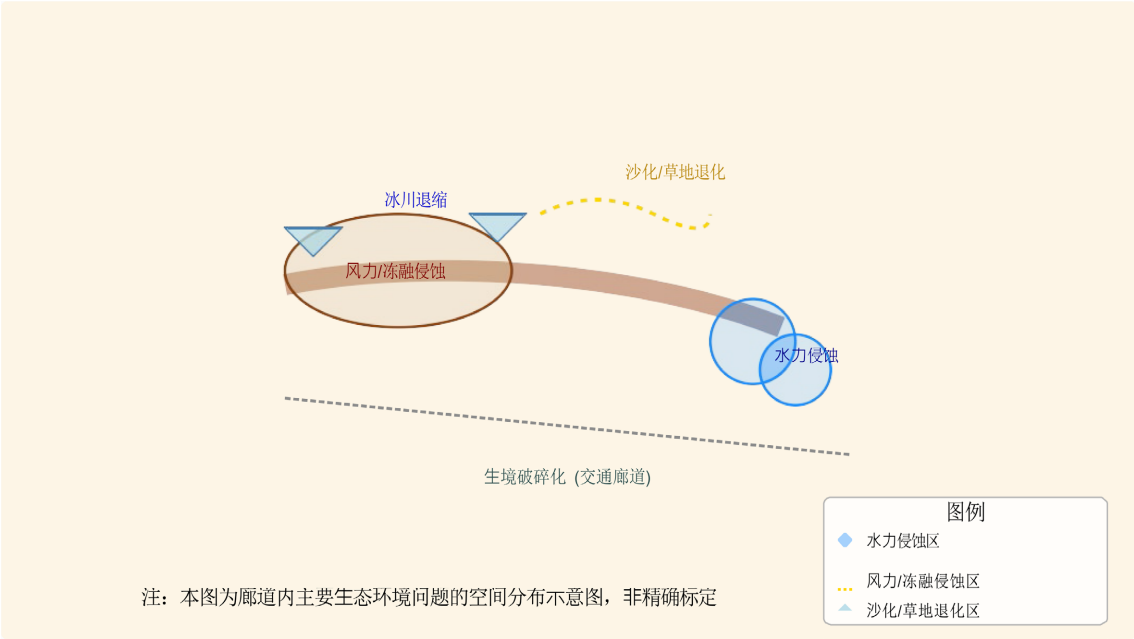


Figure 5. Schematic diagram of the spatial distribution of major ecological issues

图 5. 主要生态问题空间分布示意图

3.2.2. 生态脆弱性综合评估

基于 ESA 框架的综合评估结果清晰地揭示了廊道内生态脆弱性的空间分异格局。昆仑区域的综合脆弱性指数高达 0.85，被评为“极高脆弱性”区域。其脆弱性主要源于极高的气候变化敏感性(0.95，表现为冰川冻土对升温的敏感响应)和极低的生态系统稳定性(0.25)与水资源可获得性(0.20)。祁连山区域综合脆弱性指数为 0.68，属“高脆弱性”区域，其主要胁迫因子是较大的人类活动压力(0.70，如矿产开发、旅游和放牧)和较高的气候变化敏感性(0.85)。秦岭区域的综合脆弱性指数最低(0.45)，为“中等脆弱性”，这得益于其相对稳定的生态系统(0.75)和丰富的生物多样性(0.90)，但仍面临人类活动压力(图 6)。这一结果表明，廊道生态安全的保障策略必须具有高度的针对性，对昆仑区域应以绝对保护和适应气候变化为主，祁连山区域需重点协调保护与发展的关系，秦岭则应着力于提升生态系统质量和精细化管理。

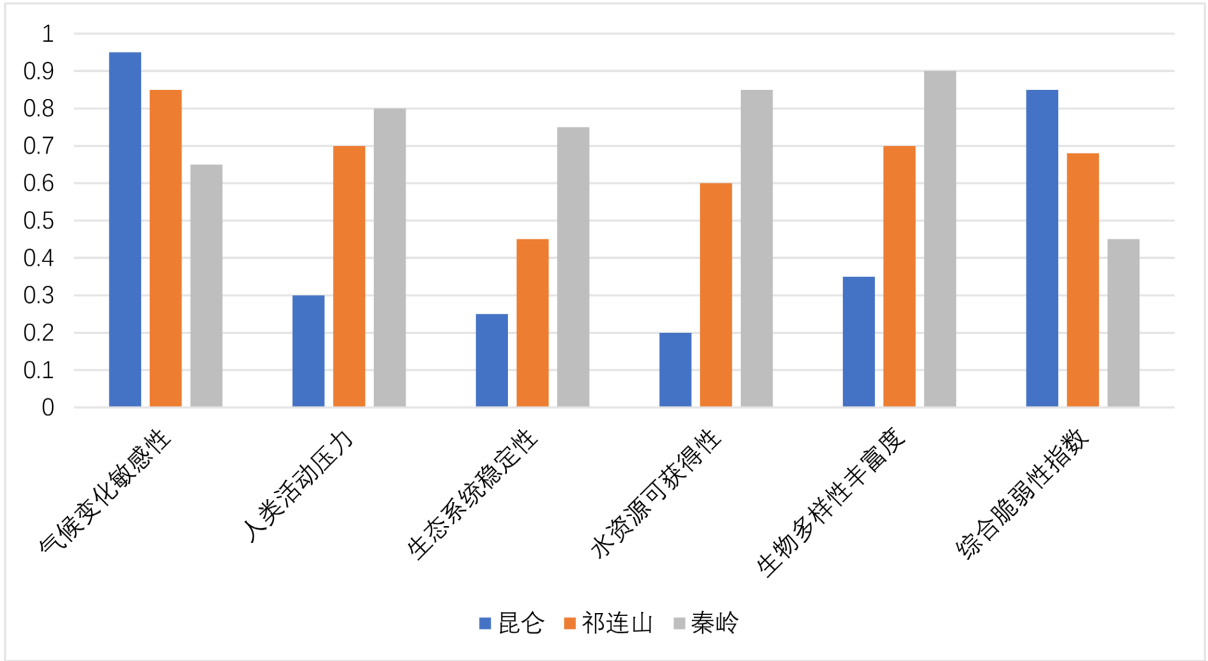


Figure 6. Multidimensional analysis of ecological vulnerability in the Kunlun-Qilian Mountains-Qinling Mountains corridor
图 6. 昆仑 - 祁连山 - 秦岭廊道生态脆弱性多维度分析

4. “五维一体”的生态安全保障策略框架

基于对昆仑 - 祁连 - 秦岭造山系生态现状、问题及“十五五”规划战略方向的综合分析，本研究提出一个系统性的“五维一体”生态安全保障策略框架。该框架以“保障廊道生态安全，实现人与自然是和谐共生”为总体目标，包含“动态监测与预警”、“科学评估与规划”、“系统保护与修复”、“多元政策与保障”以及“国家公园引领建设”五个相互关联、循环促进的维度(图 7)。

4.1. 动态监测与预警：构建廊道“智慧大脑”

此维度是框架的基础，旨在通过现代科技手段实现对廊道生态环境的全面感知和风险预警。核心是构建“空 - 天 - 地”一体化监测体系[8]。在实践中，如祁连山生态保护工程，通过融合卫星遥感、无人机巡查、地面传感器和红外相机等技术，打造了“智慧大脑”监管平台。该平台不仅能动态监测植被覆盖、冰川雪线、水源地水质等宏观指标，还能精准追踪雪豹等旗舰物种的活动轨迹，实现了从宏观到微观的精细化管理。监测获得的数据直接为下一环节“科学评估与规划”提供数据输入和决策依据。

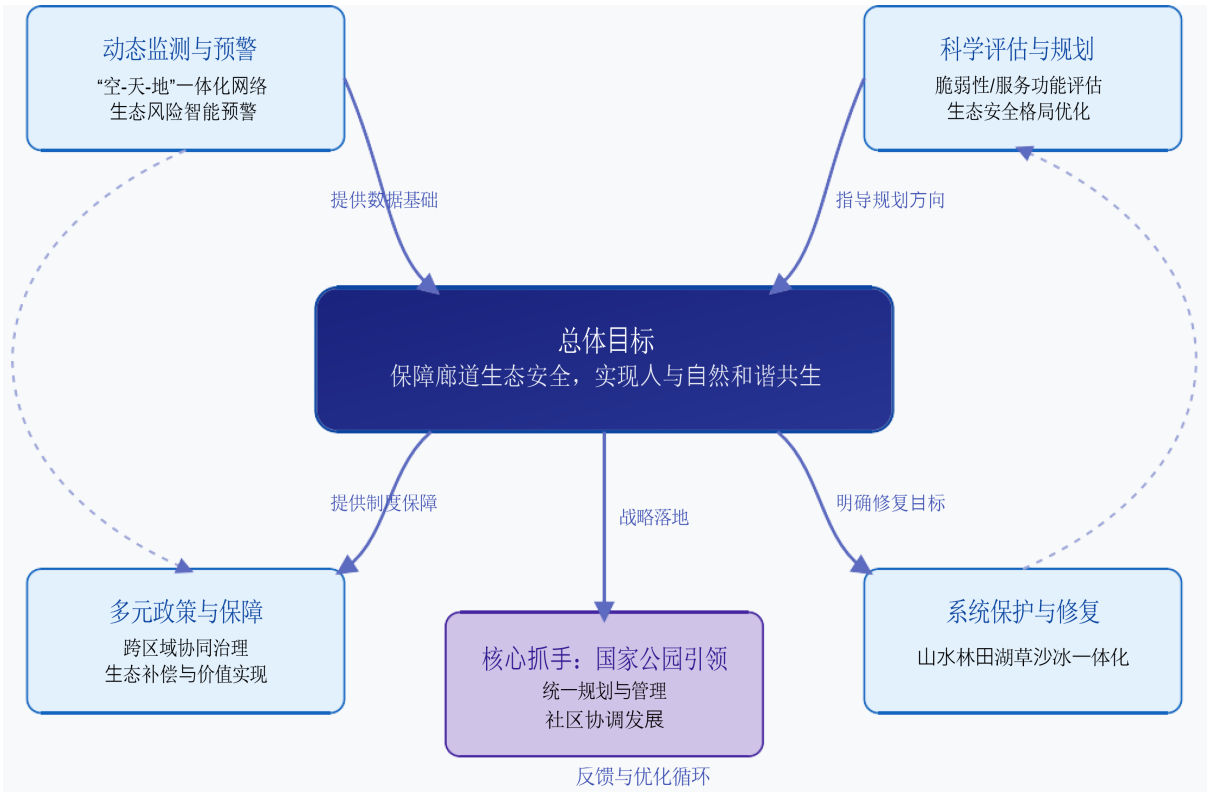


Figure 7. Schematic diagram of the logical relationships in the “five-dimensional integrated” ecological security guarantee strategy

图 7. “五维一体”生态安全保障策略逻辑关系示意图

4.2. 科学评估与规划：精准识别问题与优化布局

此维度是框架的决策中枢，旨在基于监测数据，科学评估生态状况，识别关键问题，并优化生态安全格局。本研究对昆仑－祁连－秦岭造山系的时空演化分析即是该维度的具体实践。通过评估，我们精准识别出昆仑区域是水源涵养功能退化最严重的“极高脆弱性”区域，而祁连山则是人类活动压力较大的“高脆弱性”区。这些评估结果为制定差异化的保护策略提供了科学依据：对昆仑应实施最严格的保护，对祁连山则需强化人类活动监管和生态修复[9]。评估结果进一步用于指导生态安全格局的规划，如确定生态修复的优先区、划定生态保护红线、规划生态廊道等，从而使保护行动更具针对性和有效性。

4.3. 系统保护与修复：实施一体化治理工程

此维度是框架的行动主体，旨在将评估规划的蓝图转化为具体的保护修复行动。核心理念是“山水林田湖草沙冰一体化保护和系统治理”。若尔盖草原湿地山水林田湖草沙一体化保护和修复工程是该理念的成功实践[10]-[12]。该工程并非孤立地治沙或治水，而是将整个流域视为一个生命共同体，统筹部署治草、治水、治沙等 39 个子项目。例如，通过修建微型拦水坝恢复湿地水位，减缓水流，促进泥沙沉降，从而有效治理了下游的河道沙化问题。这种系统性方法确保了各项措施的协同增效，实现了生态系统多样性、稳定性和持续性的整体提升，黑颈鹤数量增至 2000 余只，黄河含沙量显著下降。

4.4. 多元政策与保障：构建长效协同机制

此维度是框架的制度保障，旨在通过法律、经济和行政手段，为生态保护提供长效动力和跨区域协

同。核心在于完善法律法规体系、健全生态补偿机制和创新跨区域协同治理。例如,《青藏高原生态保护法》的出台为整个西部山系的保护提供了根本法律遵循[13]。在经济政策上,金昌市在祁连山保护中,积极探索与张掖市肃南县建立横向生态补偿机制,并参与全国温室气体自愿减排交易,将生态价值转化为经济收益[14]。在协同治理上,三江源国家公园通过建立跨省区的协调机制,统一规划和标准,有效解决了过去“九龙治水”的管理难题。

4.5. 核心抓手:以国家公园为主体的自然保护地体系建设

此维度是整个框架的战略核心和落地平台,它将前四个维度有机整合,通过国家公园这一载体实现系统性、完整性的保护。国家公园建设本身就是“五维一体”框架的综合应用。以三江源国家公园为例:(1) 监测预警:建立了“通导遥”综合监管体系,实现了对园区生态环境的动态监测。(2) 科学评估:基于长期监测数据,评估生态修复成效,并制定了下一年度的治理计划(如黑土滩治理 2666.67 公顷)。(3) 系统修复:实施了退化草原修复、沙化草地治理、湿地保护等一系列一体化工程。(4) 政策保障:创新了“一户一岗”的生态管护员制度,吸纳 1.5 万余名牧民参与保护,实现了生态保护与民生改善的双赢。未来,随着祁连山、秦岭等国家公园的创建,将逐步构建起覆盖整个昆仑-祁连-秦岭造山系的国家公园群,形成功能清晰、网络连通的宏大保护网,从而将“五维一体”策略落到实处,系统性地保障整个大型山系的生态安全。

5. 结论与建议

5.1. 主要结论

本研究通过对中国西部大型山系的代表——“昆仑-祁连-秦岭造”山系进行系统分析,得出以下主要结论:生态状况空间分异显著,整体趋势不容乐观。廊道生态状况呈现“东优西劣”的梯度格局。2000~2023 年间,尽管碳固存能力有所提升,但作为核心指标的生境质量和水源涵养功能在大部分区域呈下降趋势,尤其是在气候变化影响剧烈的昆仑区域,生态退化风险极高,对整个廊道的稳定性构成严重威胁。生态问题类型多样,成因复杂。廊道面临土壤侵蚀(风蚀、冻融侵蚀、水蚀)、土地沙化、冰川退缩和生境破碎化等多重问题。这些问题是高寒脆弱的自然本底与气候变化、人类活动(过度放牧、工程建设、资源开发)等因素叠加作用的结果,治理难度大,需要系统性解决方案。“五维一体”策略框架具有系统性和可操作性。本文构建的“监测预警-科学评估-系统修复-政策保障-国家公园建设”框架,将宏观战略与具体实践相结合。案例分析表明,该框架能够有效指导区域生态安全保障工作,通过科技赋能、系统治理和制度创新,协同应对复杂的生态挑战。国家公园建设是保障廊道生态安全的核心抓手。以国家公园为主体的自然保护地体系建设,是整合保护力量、实现跨区域一体化管理、系统落实“五维一体”框架的最佳路径。它不仅是生态保护的工具,更是融合生态、文化与社区发展的综合平台。

5.2. 政策建议

实施差异化、精准化的廊道保护战略。针对廊道内部显著的生态差异,应摒弃“一刀切”的管理模式。对昆仑等极高脆弱区,应设立特别保护地,以适应气候变化和维持生态系统原真性为首要目标,严格限制人类活动。对祁连山等高脆弱区,核心任务是强化生态修复和人类活动监管,平衡保护与发展的关系。对秦岭等生态基础较好的区域,重点在于提升生态系统质量和服务的可持续性。

加快推进西部国家公园群建设。按照《国家公园空间布局方案》,加快推进祁连山、秦岭等国家公园的创建和设立,与已有的三江源、大熊猫国家公园形成联动,构建覆盖西部核心生态区的国家公园网络。在建设过程中,应着力创新跨省区的统一管理体制,建立权责清晰的协同治理机制,确保廊道生态

系统的完整性和连通性。

强化科技支撑与智慧监测体系。加大对西部生态保护的科技投入，重点支持“空-天-地”一体化监测技术、生态风险预警模型、遗传多样性监测技术等研发与应用。建立统一的西部山系生态环境数据共享平台，打破数据壁垒，为科学决策、精准评估和适应性管理提供强大支撑。

健全市场化、多元化的生态补偿与价值实现机制。在加大中央财政转移支付的基础上，大力推广流域上下游、区域间的横向生态补偿机制。积极探索碳汇交易、水权交易、生态旅游特许经营等市场化路径，将廊道的生态优势转化为可持续的经济优势，并建立普惠的利益共享机制，将生态红利反哺当地社区，激发内生保护动力。

构建多方参与的协同治理格局。建立由中央统筹、地方政府主导、科研机构支撑、企业参与、社会组织和公众监督的多元共治体系。通过立法保障、信息公开、自然教育等方式，提升全社会对保护西部大型山系重要性的认识，将守护“华夏祖脉”的文化认同转化为广泛的社会自觉和集体行动。

5.3. 研究不足与展望

本研究在理论视角和实证分析上进行了探索，但仍存在不足。首先，受数据精度限制，对廊道内部更精细尺度的生态过程模拟有待深化。其次，本研究侧重于生态维度的分析，对廊道内社会经济系统与生态系统的耦合协调关系探讨不够深入。最后，对气候变化情景下廊道生态系统未来演变趋势的预测性研究有待加强。

未来研究应在以下方面深化：(1) 利用更高分辨率的遥感数据和更长时序的地面观测数据，开展对关键物种栖息地动态、生态水文过程等更精细的模拟研究。(2) 构建社会-生态系统(SES)耦合模型，定量分析廊道内生态保护政策对当地社区生计、区域经济发展的影响，探寻多目标协同的最优路径。(3) 结合多种气候变化模型(CMIP6 等)，预测未来不同情景下廊道生态系统的响应与风险，为制定前瞻性、适应性的管理策略提供科学依据。(4) 加强对廊道内跨界生态系统(如与中亚、南亚邻国相连区域)的国际合作保护机制研究，为构建“人类命运共同体”的生态安全屏障提供中国智慧。

数据可用性声明

本研究所用土地利用数据源自《中国土地利用/覆被变化数据集(CLCD v2)》(DOI: 10.5194/essd-15-4107-2023);

NDVI 数据来自 NASA LP DAAC 的 MOD13A3 产品(DOI: 10.5067/MODIS/MOD13A3.061);

DEM 采用 SRTM 填洼数据(DOI: 10.5067/MEaSUREs/SRTM/SRTMIMG.003);

土壤数据引自世界和谐土壤数据库(HWSD,

<https://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/HTML/>)。

参考文献

- [1] 王梦桥, 王忠君. 北美黄石到育空(Y2Y)国家公园群生态完整性保护与管理[J]. 风景园林, 2021, 28(8): 113-118.
- [2] 李敏. 以旗舰物种为代理的多物种廊道规划[D]: [硕士学位论文]. 南充: 西华师范大学, 2020.
- [3] 闫子梦, 童华丽. 基于最小累积阻力及重力模型的黄河上游甘青段生态安全格局识别及优化[J/OL]. 应用生态学报, 1-12. <https://www.ebiotrade.com/newsf/2026-1/20260113091319415.htm>, 2025-12-21.
- [4] 全面推进以国家公园为主体的自然保护地体系建设[J]. 旗帜, 2025(8): 37-38.
- [5] 严赋憬. 我国遴选出 49 个国家公园候选区, 总面积约 110 万平方公里[N]. 新华每日电讯, 2022-12-30(003).
- [6] 徐新良, 刘纪远, 邓祥征, 等. 中国土地利用/覆被变化遥感监测数据集(CLCD)v2: 1990-2022 年[J]. 地球系统科学数据, 2023, 15(9): 4107-4127.

- [7] 金君良, 李子威, 朱榴骏, 等. 高原寒区水文过程演变、模拟与展望[J/OL]. 水科学进展, 1-13. <https://link.cnki.net/urlid/32.1309.P.20251215.1353.002>, 2025-12-21.
- [8] 项栩琛, 张慧, 陆俊, 等. 空天地一体化网络性能优化的最新进展、挑战以及研究前景[J/OL]. 电力信息与通信技术, 1-11. <https://link.cnki.net/urlid/10.1164.TK.20251217.1059.002>, 2025-12-21.
- [9] 陈涛, 张乐乐. 祁连山国家公园青海片区湿地监测与评估系统开发[J]. 现代信息科技, 2025, 9(22): 82-86.
- [10] 何中海, 杨显华, 杨云建, 等. 基于遥感动态监测的若尔盖草原生态修复效果评估研究[J]. 四川地质学报, 2025, 45(3): 498-508+514.
- [11] 谭世林, 向国萍, 刘涛, 等. 若尔盖草原湿地山水林田湖草沙各要素特征及存在问题[J]. 环境保护科学, 2025, 51(4): 69-78.
- [12] 王静雅. 若尔盖县山水林田湖草生态保护修复分区划定及对策研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2021.
- [13] 姜文浩, 李斯琦. 青藏高原生态法治建设路径探究[J]. 佳木斯职业学院学报, 2024, 40(3): 100-102.
- [14] 胡潇月, 邓晓红, 李宗省. 生态保护与乡村振兴双赢生态补偿标准的模拟与分析——以祁连山国家公园为例[J]. 生态学报, 2024, 44(19): 8751-8763.