

宁夏回族自治区“一河三山”区域生态资源 本底状况分析及评价

张桂琴^{1,2}, 舒瑞^{1,3}, 马国庆¹, 张建海¹

[1.宁夏自然资源勘测调查院, 宁夏银川 750002; 2.中国地质大学(北京)
土地科学技术学院, 北京 100083; 3.中国地质大学(武汉)公共管理学院, 湖北武汉 430074]

摘要: [目的] 宁夏回族自治区“一河三山(黄河和六盘山、贺兰山、罗山)”区域为西北生态安全屏障的重点区域。深入分析该区生态本底现状, 梳理生态保护存在问题, 旨在为该区重点生态功能区生态安全风险分析预警、生态保护和修复策略的有效制定以及生态系统的可持续发展提供科学参考。[方法] 聚焦宁夏“一河三山”区域生态特点, 基于宁夏地区2019—2023年高分辨率遥感与生态资源本底调查成果, 从生态资源数量、质量、服务、受损4维度系统分析区域生态资源本底状况。[结果] ①宁夏回族自治区生态资源禀赋各异, 生态资源总面积为 $4.89 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 且空间分布不均, 以农田、森林和草原为主, 呈“三田四草二分林”(三分农田、四分草原、二分森林)结构。②黄河干流耕地质量平均4.45等, 但地下水水质多为IV、V类, 所占比例达91.3%, 盐渍化耕地集中; ③贺兰山区防风固沙功能突出, 但水源涵养量不足六盘山的0.9%, 植被覆盖率较低, NDVI为0.32; ④六盘山水资源总量占全区的60.3%, 但由于人工林面积大, 树种单一等问题, 水源涵养能力有所下降; ⑤罗山区中度以上沙化面积 $1.40 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 采矿用地占全区的34.3%, 生态系统脆弱性有所升高。[结论] 宁夏“一河三山”区域生态系统状况持续向好, 生态资源质量不断改善, 但局部生态脆弱, 水资源约束、沙化与人为扰动突出, 需分区施策、系统修复, 巩固生态安全屏障。

关键词: 生态资源本底; 生态修复; 国土空间格局优化; 可持续发展

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2026)01-0391-12

中图分类号: P962, P208

文献参数: 张桂琴, 舒瑞, 马国庆, 等. 宁夏回族自治区“一河三山”区域生态资源本底状况分析及评价[J]. 水土保持通报, 2026, 46(1): 391-402. Zhang Guiqin, Shu Rui, Ma Guoqing, et al. Analysis and evaluation of ecological resource baseline status in 'one river and three mountains' region of Ningxia Hui Autonomous Region [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2026, 46(1): 391-402.

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2026.01.013

CSTR: 32312.14.stbctb.2026.01.013

Analysis and evaluation of ecological resource baseline status in 'one river and three mountains' region of Ningxia Hui Autonomous Region

Zhang Guiqin^{1,2}, Shu Rui^{1,3}, Ma Guoqing¹, Zhang Jianhai¹

[1. Ningxia Natural Resources Survey and Investigation Institute, Yinchuan, Ningxia 750002, China;
2. School of Land Science and Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;
3. School of Public Administration, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan, Hubei 430074, China]

Abstract: [Objective] The 'one river and three mountains' region (Yellow River, Liupan Mountains, Helan Mountains, and Luo Mountains) in Ningxia Hui Autonomous Region is a key area of the northwest ecological security barrier. An in-depth analysis of the ecological baseline conditions was conducted, existing problems in ecological conservation were identified, in order to provide scientific guidance for ecological security risk assessment and early warning, ecological protection and restoration strategies, and sustainable ecosystem

收稿日期: 2025-07-11

修回日期: 2025-10-13

采用日期: 2025-10-13

资助项目: 部省合作项目“宁夏生态资源本底状况调查及评价关键技术研究及应用示范项目”(2024ZRBSHZ047), “宁夏黄河流域生态保护红线监测监管关键技术研究及应用示范项目”(2023ZRBSHZ044); 宁夏自然科学基金项目“生态安全约束下宁夏土地资源‘诊断—模拟—优化’研究”(2025AAC030509)

第一作者: 张桂琴(1998—), 女(回族), 宁夏回族自治区中宁县人, 博士研究生, 助理工程师, 主要从事生态修复、土地规划与可持续利用研究。Email: 17395032752@163.com。

通信作者: 张建海(1984—), 男(汉族), 甘肃省天水市人, 高级工程师, 主要从事宁夏自然资源全域全要素调查探索与实践工作。Email: 350721629@qq.com。

development in the key ecological functional zones of this region. [Methods] Focusing on the ecological characteristics of Ningxia's 'One River and Three Mountains' region, this study systematically analyzed the baseline status of regional ecological resources from four dimensions—quantity, quality, services, and damage—based on high-resolution remote sensing data and ecological resource baseline surveys from 2019 to 2023. [Results] ① The Ningxia Hui Autonomous Region had diverse ecological resources, with a total ecological area of 4.89×10^6 hm². These resources were unevenly distributed, primarily consisting of farmland, forests, and grasslands, forming a structure characterized as 'three parts farmland, four parts grassland, and two parts forest.' ② Along the Yellow River mainstem, the average farmland quality was 4.45 grade, but groundwater quality was predominantly Class IV or V, accounting for 91.3% of the area, with concentrated salinization of farmland. ③ The Helan Mountain area had prominent windbreak and sand fixation functions, but its water conservation capacity was less than 0.9% of that of the Liupan Mountains, with low vegetation coverage and an NDVI of 0.32. ④ The Liupan Mountains accounted for 60.3% of the region's total water resources, but due to issues such as large areas of artificial forests and monospecific tree species, water conservation capacity had decreased. ⑤ In Luo Mountains, the area of moderate to severe desertification was 1.40×10^5 hm², with mining land accounting for 34.3% of the total area, indicating an increase in ecosystem vulnerability. [Conclusion] The ecological conditions of Ningxia's 'One River and Three Mountains' region continue to improve, with ecological resource quality steadily enhancing. However, localized ecological fragility persists, and challenges such as water resource constraints, desertification, and human disturbance remain prominent. Tailored regional strategies and systematic restoration efforts are necessary to consolidate the ecological security barrier.

Keywords: ecological resource baseline; ecological restoration; optimization of territorial spatial pattern; sustainable development

生态资源是生存之本、发展之源、绿色之基,是生态产品的生产载体和供给主体,保护和修复生态资源是可持续发展的内在要求。2024年8月,自然资源部《关于保护和永续利用自然资源扎实推进美丽中国建设的实施意见》^[1]中提出“开展生态系统本底状况调查,变化监测,风险预警”。宁夏回族自治区党委十三届五次全会明确要求“查清生态资源数量、分布、保护、利用等基本情况,细化自然资源调查监测评价指标,建立生态功能恢复、生态安全预警、生态成效评估指标,保障生态保护修复成效评估科学规范实施”^[2]。

近年来,国内外在自然资源调查和生态状况评估方面开展了大量研究,为生态保护与修复工作提供了重要的理论基础和技术支持。其中,在自然资源调查方面,随着生态文明建设的推进,中国逐步加强了自然资源调查工作,研究多集中于自然资源调查监测,立体时空数据库建设、分析评价等方面^[3-5]。例如,2018年启动的第3次全国土地调查,全面查清了全国土地利用现状,为土地资源管理和生态保护提供了重要的数据支持。黄景金等^[6]基于自然资源统一调查监测体系,提出了自然资源调查监测体系技术框架,在“天空地人网”协同感知,自然资源时空数据自动化处理等方面开展研究。袁承程等^[7]应用

文献梳理和实地调研方法,回顾中国自然资源调查发展历程,梳理和分析当前中国自然资源调查现状和问题,并从进一步明确自然资源管理需求,构建服务于自然资源管理的分类体系等方面提出中国自然资源综合调查监测能力提升的对策。张建海等^[8]从分类标准制定,自然资源调查工作内容,技术路线,工作方法等方面开展自然资源全要素调查监测研究工作。唐菲等^[9]结合自然资源调查监测工作实际,探究多元信息数据收集整理,变化信息提取,外业调查举证等关键技术。在生态状况评估方面,生态系统服务价值评估是当前研究的热点之一,主要聚焦区域内由典型人类活动引起的土地利用变化,根据区域特点和研究目标,构建有针对性的评估指标,开展生态系统服务、生态价值等评价,分析区域生态系统变化特点与演变规律^[10-12]。例如,Costanza R等^[13]首次提出了生态系统服务价值评估的框架,将生态系统服务分为支持服务、供给服务、调节服务和文化服务,并估算了全球生态系统服务的总价值。此后,国内外学者在此基础上开展了大量研究,不断改进评估方法和指标体系。例如,艾佳超等^[14]基于多源数据,计算京津冀地区2000—2020年的生态环境状况,并对其时空变化特征进行分析。杨清可等^[15]从基础、结构、胁迫和效益等层面构建指标体系,采用空

间异质性、最小跨度树和障碍因子诊断等模型,探究江苏土地生态状况的基本特征、空间分异与障碍因子。尽管国内外在自然资源调查和生态状况评估方面取得了显著进展,然而,现有的自然资源调查普遍侧重于数量与结构特征,对资源质量及关键生态要素的专项调查相对薄弱。此外,适用于区域生态资源特点的系统性分类体系与多维度综合评价标准体系仍亟待建立。

宁夏回族自治区作为全国唯一全境属于黄河流域、“三北”工程建设地区,全国的重要生态屏障、生态节点、生态通道^[16],在维护西北乃至全国生态安全方面具有重要战略地位。当前,宁夏生态环境保护正处在压力叠加、负重前行的关键期^[17],全区生态环境敏感脆弱,生态网络不完善、区域水土流失、荒漠化、沙化生态胁迫等问题明显^[18-22]。因此,摸清生态资源家底,科学评估生态状况,对于深入贯彻生态文明思想,推进宁夏生态保护与高质量发展至关重要。2024年,宁夏首次以生态保护修复需求及国土空间格局优化为目标导向,开展生态资源本底调查研究,构建生态资源分类体系,摸清全区生态资源底数,分区分类进行分析,为筑牢祖国西北重要生态安全屏障,打好黄河“几字弯”攻坚战,统筹推进森林、草原、湿地、荒漠生态保护修复和盐碱地综合治理提供基础支撑。在此背景下,本文基于宁夏生态资源本底调查成果,重点围绕“一河三山”区域生态特点,摸清“一河三山”生态资源家底,分析生态本底状况变化情况,梳理生态保护存在问题,对于开展重点生态功能区生态安全风险预警,制定科学有效的生态保护和修复策略,实现宁夏生态系统的可持续发展具有极其重要的意义。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况及数据来源

1.1.1 研究区概况

宁夏回族自治区地处黄土高原与蒙古高原的过渡地带,属典型的大陆性气候,东西短南北长,境内山地迭起,平原错落,丘陵散布。全境海拔 1 000 m 以上,地势南高北低,北部被腾格里沙漠、乌兰布和沙漠及毛乌素沙地环绕,得益于黄河自流灌溉之便利,形成典型的平原绿洲地区,地形主要为黄河冲积平原和贺兰山地;中部为低丘干旱风沙区,主要为灵盐台地、山地和山间平原;南部为黄土丘陵沟壑区和土石山区。全区山地多于平地,地形崎岖、交通不便,不利于土地开发。山地森林资源丰富,有多种经营发展的潜力,可以发展立体农业和旅游业。但同时,部分山区受海拔高,植被生长期短,坡度大,土层薄等因素影响,土地生态系统极其脆弱,易引发水土流失和生态平衡破坏。按照《宁夏国土空间修复规划(2021—2035年)》划分的贺兰山、罗山、六盘山生态修复规划范围,包括自然保护区、生态关联区、生态延伸区,黄河干流以黄河流经区域为主,范围覆盖石嘴山市全域、银川市“三区两县(“三区”即兴庆区、金凤区、西夏区;“两县”即永宁县、贺兰县)”和灵武市西部地区、吴忠市青铜峡市和利通区中北部区域、中卫市中宁县喊叫水乡以北地区和沙坡头区兴仁镇以北地区。

1.1.2 数据来源

本研究采用的数据主要包括:30 m 分辨率的数字高程模型 DEM,归一化植被指数 NDVI,世界土壤数据库 HWSD 2.0,气象站点、生态资源分类等数据。具体数据类型、获取时间和来源详见表 1。

表 1 研究数据类型、获取时间和来源

Table 1 Study data types, acquisition time and sources

数据类型	数据时间	数据精度	数据来源
数字高程模型	2019, 2023 年	30 m	宁夏自然资源勘测调查院
生态资源分类数据	2019, 2023 年	矢量	宁夏自然资源勘测调查院宁夏生态资源本底调查项目
归一化植被指数	2019, 2023 年	30 m	国家生态科学数据中心
世界土壤数据库	2023 年	矢量	联合国粮农组
年度气象站点	2019, 2023 年	30 m	宁夏回族自治区气象局
退耕还林数据	2000, 2015 年	矢量	宁夏自然资源勘测调查院
第六次荒漠化和沙化监测成果	2019 年	矢量	宁夏回族自治区林业和草原局
森林覆盖率	2019, 2023 年	矢量	宁夏回族自治区林业和草原局
草原生态资源平均质量等级	2019, 2023 年	矢量	宁夏回族自治区林业和草原局
草原综合植被盖度	2019, 2023 年	矢量	宁夏回族自治区林业和草原局
其他各类管理数据	最新	矢量	宁夏自然资源勘测调查院

为了便于分析和处理,将所有数据转换为平面坐标系统采用“2000 国家大地坐标系统”,投影采用 3°高斯-克吕格投影,高程系统采用“1985 国家高程基准”坐标系。

1.2 研究方法

1.2.1 评价指标体系构建

从反映宁夏回族自治区实际和区域特色出发,按照代表性、重要性、独立性、可比性、可得性等原则,参考自然资源、发展改革、生态环境等部门生态评估指标,从生态资源数量、质量、服务、受损 4 个方面设计基于自然资源的生态资源本底状况评价指标体系(表 2),对该区“一河三山”区域生态资源状况进行评价。

1.2.2 生态系统服务

生态系统服务评价是基于某区域的生态环境状况,分析生态系统服务的空间地理规律^[23]。研究选取了水源涵养、土壤保持、防风固沙、碳固定、生境质量开展生态系统服务评价(表 3)。水源涵养反映生态系统蓄水效应,减轻地表径流量的能力^[24];土壤保持能够有效反映生态系统防止土壤流失,拦泥储沙的能力;防风固沙反映生态系统通过植被、土壤等结构减少风蚀,保持土壤稳定的能力,主要体现为对风力侵蚀的抵抗和调节作用^[25];碳贮存主要反映生态系统通过自然过程(如光合作用、土壤有机质积累等)将大气中的二氧化碳固定并长期储存的能力^[26];生境质量反映生物在生态系统中生存发展的能力^[27]。

表 2 宁夏回族自治区生态资源本底状况评价指标

Table 2 Evaluation indicators for ecological resource baseline status of Ningxia Hui Autonomous Region

一级指标	二级指标	指标解释
生态资源数量	生态资源用地数量	指区域内各类生态资源的面积
	农田质量等别	反映农田生态资源质量的高低
生态资源质量	地表水质优良率	指达到或优于Ⅲ类水质的地表水体断面样点占总样点的比例
	地下水水质优良率	指达到或优于Ⅲ类水质的地下水监测样点占总样点的比例
	归一化植被指数	反映年度植被生长状态和覆盖情况,通过比较近红外波段和红光波段的反射率计算
	生境质量	反映区域内生境质量状况的指数,可以表征生物多样性和生态服务水平
生态系统服务	水源涵养量	指区域内年降水量与蒸散量和径流量之差
	土壤保持量	指区域内潜在土壤侵蚀量与实际土壤侵蚀量之差
	防风固沙量	指区域内潜在风蚀量与实际风蚀量之差
	生态固碳量	指通过物理或生物过程将大气中二氧化碳转化为有机物,固定在植物体内或土壤中,从而减少大气中二氧化碳含量的总量
生态资源受损	荒漠化指数	反映区域内土地荒漠化的严重程度
	地表水劣Ⅴ类比例	指水质为Ⅴ类的地表水体断面样点占总样点的比例
	地下水劣Ⅴ类比例	指水质为Ⅴ类的地下水监测样点占总样点的比例
	沙化程度	反映区域内土地沙化的严重程度

2 结果与分析

2.1 宁夏生态资源状况分布格局

截至 2023 年底,宁夏全区生态资源总面积 $4.89 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。其中,草原生态资源 $1.95 \times 10^6 \text{ hm}^2$,占 39.8%,是该区分布最广,面积最大的资源类型,从空间分布特征看(如图 1 所示),宁夏 5 市均有草地分布,呈现南北少,中间多的特征;其次为农田生态资源,面积 $1.66 \times 10^6 \text{ hm}^2$,占 34%,主要分布于北部引黄灌溉平原区,该地区地势平坦,土壤肥沃,水源充足,农业生产条件好,是宁夏的主要粮食产区^[28];森林生态资源面积 $8.79 \times 10^5 \text{ hm}^2$,占 18%,全区森林生

态资源总体呈现南多北少,围绕贺兰山、罗山、六盘山等自然保护区集聚分布的特点;荒漠生态资源 $1.67 \times 10^5 \text{ hm}^2$,沙漠生态资源 $5.59 \times 10^4 \text{ hm}^2$,主要分布腾格里沙漠和毛乌素沙地范围的盐池、同心、海原、沙坡头等市县;水域生态资源 $7.09 \times 10^4 \text{ hm}^2$,湿地生态资源 $2.51 \times 10^4 \text{ hm}^2$,主要分布在卫宁平原和银川平原,南部山区较少;城镇生态资源 $2.96 \times 10^4 \text{ hm}^2$,主要分布在银川市(占全区域城镇生态资源的 46.16%),其中以银川市、吴忠市为主的北部沿黄城市群集中了 77.80% 的城镇生态资源;乡村生态资源 $5.11 \times 10^4 \text{ hm}^2$,在各县区均有分布,分布较散,主要位于固原市、吴忠市、中卫市。

表 3 生态系统服务重要性指标

Table 3 Indicators of importance for ecosystem services

指标	计算公式	备注
水源涵养	$T = \sum_{k=1}^n (P_k - R_k - E_k) \times A_k \times 10^3$	式中: T 为总水源涵养量(m^3); P_k 为降雨量(mm); R_k 为地表径流量(mm); E_k 为蒸散发(mm); A_k 为生态系统面积(km^2); k 为研究区第 k 类生态系统类型; n 为研究区生态系统类型数
土壤保持	$Q_{sr} = R \times K \times L \times S \times (1 - C \times P)$	式中: Q_{sr} 为土壤保持量(t/a); R 为降雨侵蚀力因子,用多年平均降雨侵蚀力指数表示; K 为土壤可蚀性因子,采用标准样方上单位降雨侵蚀力所引起的土壤流失量表示; L 为坡长因子(无量纲); S 为坡度因子(无量纲); C 为植被覆盖和管理因子(无量纲); P 为水土保持措施因子(无量纲),统一取值为 1
防风固沙	$SL = \frac{2h}{S^2} \times Q_{max} \cdot e^{-\left(\frac{h}{s}\right)^2}$ $Q_{max} = 109.8 \times WF \cdot EF \cdot SCF \cdot K \cdot C$ $s = 109.8 \times (WF \cdot EF \cdot SCF \cdot K \cdot C)^{-0.3711}$ $SL_r = \frac{2h}{S_r^2} \times Q_{rmax} \times e^{-\left(\frac{h}{s_r}\right)^2}$ $Q_{rmax} = 109.8 \times WF \cdot EF \cdot SCF \cdot K$ $S_r = 109.8 \times (WF \cdot EF \cdot SCF \cdot K)^{-0.3711}$ $G = SL_r - SL$	式中: SL 表示单位面积年实际风蚀量(kg/m^2); h 表示下风向距离(m),本次计算取 50 m ; s 表示关键地块长度(m); Q_{max} 表示风力的最大输沙能力(kg/m); $WF, EF, SCF, K, C, SL_r, S_r$ 分别代表气候因子(kg/m)、土壤可蚀性因子、土壤结皮因子、土壤糙度因子、植被因子、单位面积年潜在风蚀量(kg/m^2)、潜在关键地块长度(m); Q_{rmax} 表示潜在风力的最大输沙能力(kg/m); G 表示单位面积年防风固沙物质量(kg/m^2)
碳贮存	$C = C_{above} + C_{below} + C_{soil} + C_{dead}$	式中: C 为总碳储量; C_{above} 为地上部分碳储量; C_{below} 为地下部分碳储量; C_{soil} 为土壤中的碳储量; C_{dead} 为枯落物碳储量
生境质量	$Q_{ij} = H_j \left[1 - \left(\frac{D_{ij}^z}{D_{ij}^z + K^z} \right) \right]$	式中: Q_{ij} 表示土地利用类型为 i 的栅格单元 x 的生境质量; H_j 表示土地利用类型为 i 的栅格单元 x 的生境适合性; j 表示土地利用类型为 i 的栅格单元 x 所受胁迫水平(生境退化程度); k 为半饱和和常数,一般设置为 j 最大值的 1/2; z 为默认参数,通常取值 2.5

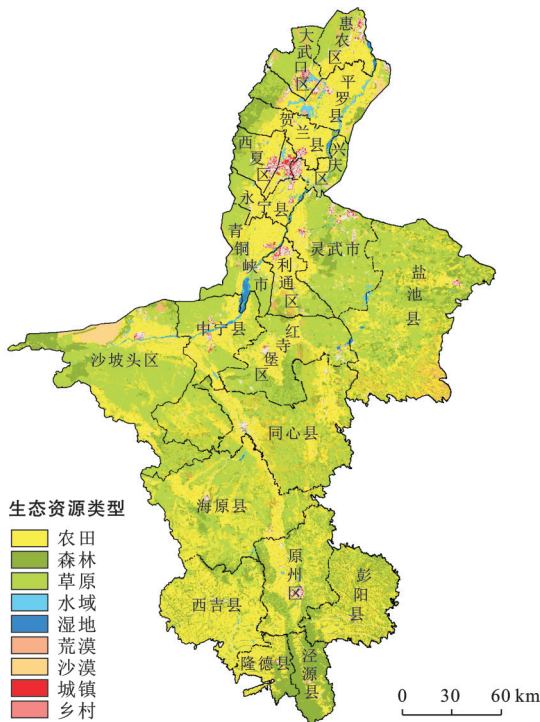


图 1 宁夏回族自治区生态资源现状

Fig.1 Current status of ecological resources in Ningxia Hui Autonomous Region

2.2 宁夏“一河三山”生态资源状况分析

2.2.1 黄河干流生态资源状况

2023 年,区域内生态资源占黄河干流区域总面

积的 90.8%(图 2a),各类生态资源均有分布,以农田、草原和森林生态资源为主,分别占生态资源面积的 38.6%,40.8%,9.3%。水资源丰富,35.5%的国土面积集聚了全区 64.3%的水域生态资源,75%的湿地生态资源。该区域地势平坦,黄河水灌溉便利,耕地平均质量等级 4.45 等,高于全区平均 6.79 等,尤其是银川绿洲平原区和卫宁绿洲平原区[范围来源宁夏国土空间生态修复规划(2021—2035 年)中生态修复分区],耕地等级达到 4.13 等和 3.09 等。各类生态资源结构完整、生态廊道基本贯通,农田、湿地、水域、乡村等生态资源聚集度和连通度均高于中南部,按类型分,沙漠生态资源聚集度(95.68)和连通度(94.20)最高,城镇生态资源连通度(84.59)和聚集度(76.42)最低。区域平均城市绿地率 28%,其中金凤区为 40.2%,所占比例为全区各县区最高。

2.2.2 贺兰山生态资源状况

2023 年,贺兰山范围内生态资源占贺兰山区域面积的 91.5%。其中,保护区主要以森林和草原生态资源为主,占生态资源面积的 95.1%(图 2b),森林覆盖率为 16.37%,草原综合植被盖度为 43.58%,草原生态资源平均质量等级为 2.89 等。关联区以农田和草原生态资源为主,占生态资源面积的 81.7%,森林覆盖率为 4.13%,草原综合植被盖度为 40.89%,

草原生态资源平均质量等级为 3.33 等,草原生态资源平均质量等级为 2.98 等。延伸区以农田和草原生态资源为主,占生态资源面积的 85.8%,森林覆盖率为 5.02%,草原综合植被盖度为 48.3%。贺兰山防风固沙量 10.15 t/(hm²·a),碳密度为 27.26 t/hm²,生境质量 48.01。贺兰山有效阻挡了腾格里沙漠东移和乌兰布和沙漠南扩,守卫着宁夏平原绿洲的生态安全。

2.2.3 六盘山生态资源状况

六盘山生态资源占区域面积的 95.9%。其中,保护区主要以森林生态资源为主,森林覆盖率达 63.48%,归一化植被指数 0.86,植被覆盖整体较高。关联区主要以农田和森林生态资源为主(图 2c),农田生态资源面积 4.44×10⁵ hm²,森林生态资源面积 3.12×10⁵ hm²,森林覆盖率为 10.93%。延伸区主要以草原生态资源为主,面积 3.05×10⁵ hm²,草原综合植被盖度为 60.6%。六盘山潜在蒸散量较低(982.6 mm),降水丰富(401.1 mm),是全区水源涵养、水资源量最丰富,生境质量最好的区域。经测算,六盘山湿润指数 0.41,高于全区平均水平(0.26),其中,保护区达 0.69;水资源量为 4.90×10⁸ m³,占全区 60.26%,水源涵养量为 37.44 mm,碳密度为 64.20 t/hm²;保护区生境质量为 93.28;地表水水质优良率为 75%,其中,保

护区水质优良率为 100%。

2.2.4 罗山生态资源状况

罗山生态资源占区域面积的 96.1%,主要以草原生态资源(7.72×10⁵ hm²)为主,占罗山生态资源的 50.5%。荒漠生态资源 9.38×10⁴ hm²(图 2d),占全区荒漠生态资源的 56%,是全区草原和荒漠生态资源的集中分布区。①保护区生态资源面积 3.37×10⁴ hm²,森林生态资源 1.02×10⁴ hm²,森林覆盖率 19.73%,草原生态资源面积 2.0×10⁴ hm²,草原综合植被盖度 73.05%,草原生态资源质量 2.82 等,归一化植被指数 0.4。②关联区生态资源面积 4.26×10⁵ hm²,森林生态资源 6.21×10⁴ hm²,森林覆盖率 11.74%,草原生态资源面积 1.93×10⁵ hm²,草原综合植被盖度 52.21%,草原生态资源质量等级 3.02 等,地表水优良率 33.3%。③延伸区生态资源面积 1.07×10⁶ hm²,森林生态资源面积 1.72×10⁵ hm²,森林覆盖率 13.87%,草原生态资源面积 5.59×10⁵ hm²,草原综合植被盖度 56.39%,草原生态资源质量等级 2.98 等,归一化植被指数 0.38,地表水优良率为 40%。罗山平均防风固沙量 2.59 t/(hm²·a),平均水源涵养量为 1.76 mm,平均碳密度为 30.47 t/hm²,生境质量 53.47,经过科学保护与建设,植被盖度与生物量显著提高,物种丰富度增加。

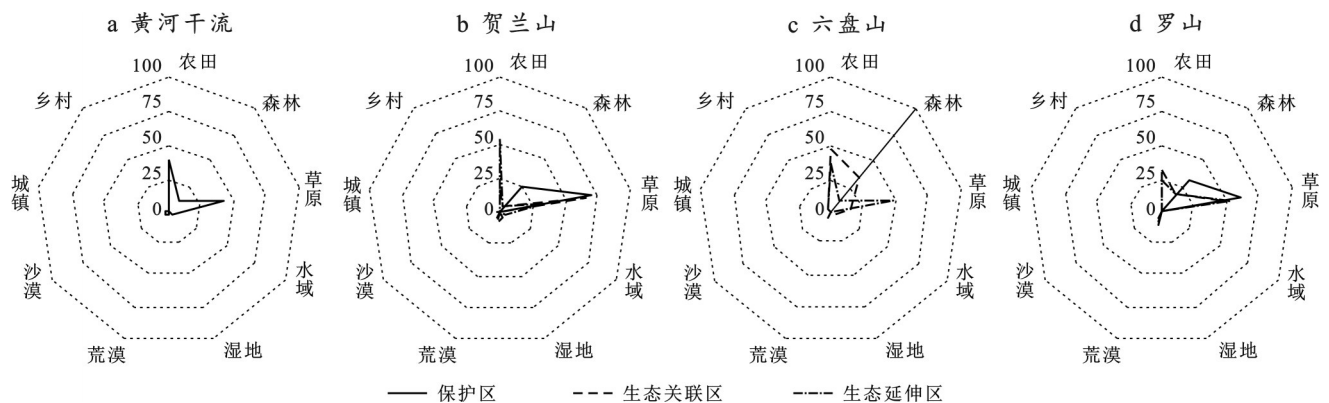


图 2 宁夏回族自治区“一河三山”范围生态资源分类统计结果

Fig.2 Statistical classification of ecological resources in “one river and three mountains” region of Ningxia Hui Autonomous Region

2.3 宁夏“一河三山”生态本底状况评价分析

2.3.1 黄河干流生态本底状况评价

2019 年以来,黄河干流生态资源面积占比稳定在 90% 以上,森林、水域、农田生态资源分别增加 7 973.33 hm², 2 506.67 hm² 和 4 080.00 hm², 沙漠、荒漠生态资源分别减少 2 886.67 hm² 和 3 433.33 hm²。森林覆盖率从 2021 年的 6.26% 增加到 2023 年的 7.92%(图 3a),草原生态资源平均质量等级从 2019 年

的 3.06 等提高到 2023 年的 3.05 等。荒漠化土地面积减少 7.63×10⁴ hm²,中度以上荒漠化面积减少 1.84×10⁴ hm²,沙化土地面积减少 8.33×10⁴ hm²,中度以上沙化面积减少 1.89×10⁴ hm²,荒漠化和沙化土地面积呈双缩减,生态资源质量持续改善。较 2019 年,土壤流失量减少 0.59 t/(hm²·a),生态资源连通度提高 0.25;资源不断集聚,水域、湿地、农田生态资源集聚度分别提高 0.47, 0.23 和 0.17,生态资源功能持续优

化。根据评价结果,2023年黄河干流地下水硫酸盐、总硬度、溶解性总固体、氯化物、氟化物、铁、锰等天然背景值偏高,处理后可作为饮用水源的Ⅳ类地下水监测站点所占比例为53.4%,Ⅴ类地下水监测站点比例为37.9%,水资源质量整体不高。黄河干流范围内中度及以上荒漠化面积 $6.09 \times 10^5 \text{ hm}^2$,占全区中度及以上荒漠化面积的53.3%,中度及以上沙化面积 $1.62 \times 10^5 \text{ hm}^2$,占全区中度及以上沙化面积的51.4%。浅层地下水利用程度低,常年埋深在1.0~1.5 m,加之年均蒸发量大,灌区土壤盐渍化较重,集中了全区大部分的盐碱化耕地。

2.3.2 贺兰山生态本底状况评价

2019年以来,贺兰山森林生态资源持续稳定增长,其中,森林生态资源面积增加 $7.48 \times 10^3 \text{ hm}^2$,森林覆盖率由2021年的6.15%增加至2023年的8.78%,保护区范围内森林覆盖率增加幅度最大,由10.88%增加至16.37%(图3b)。较2019年,贺兰山碳贮存和生境质量稳步增长,增长率均为1.9%,防风固沙能力显著提升,固土量增加 $1.85 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,增长率为22.2%,水源涵养率较2019年提升1.87%

(图5a),生态系统服务功能持续优化。贺兰山草原综合植被盖度由2021年的41.06%提高到2023年的43.90%,保护区、关联区、延伸区分别提升了2.4%,5.1%和1.0%(图4a),草原生态资源质量显著提升。2019年以来地表水好于Ⅲ类的水质点保持稳定,保护区、关联区内地表水质均为Ⅰ,Ⅱ类水,区域内地下水水位下降幅度减缓,水资源质量不断向好。全区第六次荒漠化和沙化监测显示,贺兰山荒漠化面积为 $3.38 \times 10^5 \text{ hm}^2$,沙化 $9.94 \times 10^4 \text{ hm}^2$,较第五次荒漠化和沙化监测分别下降了 $2.62 \times 10^4 \text{ hm}^2$, $2.45 \times 10^4 \text{ hm}^2$,生态资源受损逐步改善。评价结果显示,贺兰山保护区及外围重点区域生态环境综合治理,消除了各类矿坑及渣堆地质灾害安全隐患,但由于土壤层厚度不够,植被恢复速度较慢,保护区及关联区植被归一化指数仅为0.32,低于全区0.45的平均水平。2023年贺兰山水源涵养量为0.35 mm,土壤保持量为 $36.10 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,森林覆盖率为8.78%,草原综合植被盖度43.90%,受自然禀赋影响,在“三山”中处于较低位置,与同类型区域相比,林草植被盖度仍有一定的提升空间。

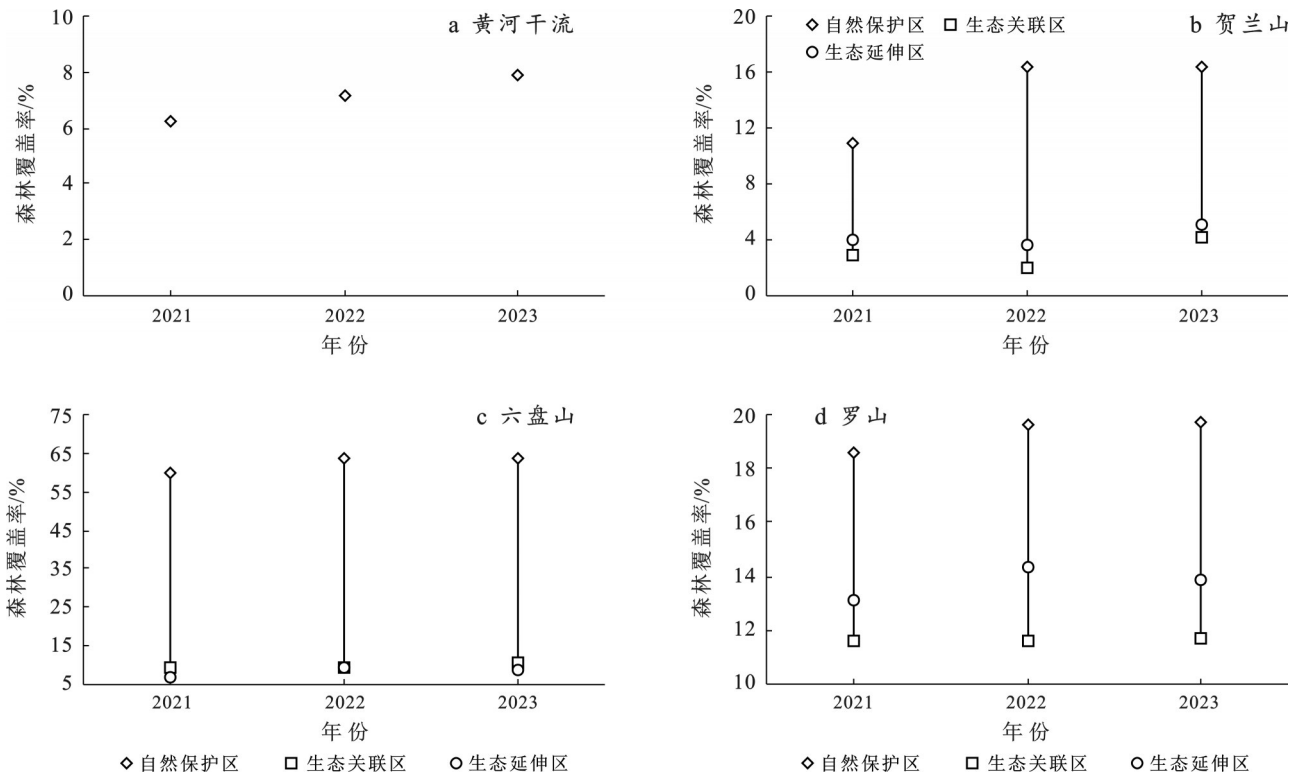


图3 宁夏“一河三山”森林覆盖率变化
 Fig.3 Changes in forest cover of Ningxia's "one river and three mountains" region

2.3.3 六盘山生态本底状况评价

2019年以来,六盘山范围内森林生态资源面积逐步增长,其中关联区、延伸区、保护区分别增加9 670,2 210,80.94 hm^2 。2021年以来,森林覆盖率整

体提升1.67%,其中保护区提升3.33%(图3c)。草原综合植被盖度提高7.59%,其中延伸区提高11.94%,生态资源质量稳步提升(图4b)。

相较2019年,六盘山防风固沙和碳贮存功能均

显著提升。其中,防风固沙量提高0.43~0.59 t/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$),碳密度提高3.51 t/ hm^2 ,增长率为5.78%,生态资源功能持续增强。六盘山纳入生态保护红线面积生态资源4.28 $\times 10^5$ hm^2 ,退耕还林范围内生态资源面积2.39 $\times 10^5$ hm^2 。湿地保护率提高0.89%,其中生态延伸区提高3.88%。中度及以上水土流失面积减少4.21 $\times 10^4$ hm^2 ,治理面积增加2.43 $\times 10^4$ hm^2 ,生态保护修复成效突出。

六盘山主要地貌类型是以流水侵蚀碎屑岩和泥质岩为主的山地及红岩石丘陵,表层覆土薄、固土能力差,水土流失面积达5.73 $\times 10^5$ hm^2 ,其中,强度以上侵蚀面积8.36 $\times 10^4$ hm^2 。2019年以来,土壤保持量减少13.63 t/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$),土壤保持率下降了0.05个百分点。保护区人工林面积大,树种单一,部分区域树种选择不当,加之干旱和缺少抚育,林木病虫害严重,林木长势弱,树冠偏小,森林对降水的截留小,径流量大,水源涵养功能发挥不稳定。2023年保护区平均水源涵养量210.4 mm,较2019年减少25.62 mm。延伸区和关联区多为黄土丘陵和山地,坡度大,林木密度低,植被拦截降水能力差。2023年关联区和延伸区平均水源涵养量分别为47.74和4.82 mm,较2019年分别减少18.58和4.70 mm,水源涵养率分别为78.75%和80.86%(图5b),涵养水源能力仍需提高。

2.3.4 罗山生态本底状况评价

2019年以来,罗山范围内森林生态资源面积呈现不同程度的增加,其中延伸区范围增加最多,为1.10 $\times 10^4$ hm^2 ,保护区、关联区分别增加731和2 510 hm^2 。森林覆盖率由2021年的12.81%提升到

2023年的13.4%(图3d)。草原综合植被盖度提高了5.49%(图4c),生态资源质量显著提升。相比2019年,碳贮存和防风固沙能力明显增加,分别增加4.80 $\times 10^7$ t/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)和0.51 t/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$),增长率分别为1.6%,24.6%;保护区生境质量稳步增长,增长了0.63,生态资源功能大幅提升(图5)。退耕还林范围内生态资源面积8.62 $\times 10^4$ hm^2 ,湿地保护率达57.61%,较2019年提高6.63%。2019年以来累计治理水土流失1.37 $\times 10^5$ hm^2 ,中度及以上荒漠化和沙化土地分别较第五次荒漠化和沙化监测减少7.19 $\times 10^4$ hm^2 和2.80 $\times 10^4$ hm^2 ,生态保护修复成效显著。

罗山天然草原以中低等级为主,草原平均质量为2.98等,草原退化问题突出。构成草原植被的植物群落结构简单、草丛低矮、生长稀疏、产草量低,草原归一化植被指数0.32。受毛乌素沙地和腾格里沙漠干热气候、人类活动影响,草原植被斑块破碎化,容易沙化,保护区草原生态资源聚集度下降了0.52个百分点,连通度下降0.22个百分点。罗山中度以上沙化面积1.40 $\times 10^5$ hm^2 ,主要以沙化草原为主,占80%,草原沙化问题显著。该地区以丘陵沟壑为主,气候干旱、水资源匮乏,光热条件充沛,潜在蒸散量是降水量的4倍。森林结构单一,植被稀疏,覆盖度较低,主要为特殊灌木林(2.19 $\times 10^5$ hm^2 ,占罗山森林生态资源的89.59%),森林覆盖率13.4%,归一化植被指数0.37。罗山范围内煤炭、砂石料等矿产资源开采面积较大,现有采矿用地面积7 890 hm^2 ,占全区采矿用地面积的34.3%,历史遗留矿山面积2 390 hm^2 ,矿山开采破坏原生植被,造成地表裸露,风蚀水蚀加剧。

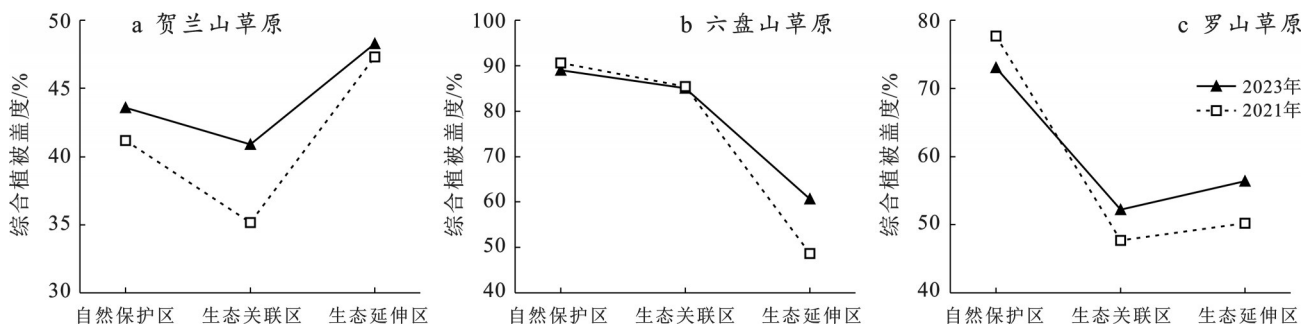


图4 宁夏“三山”草原综合植被盖度变化

Fig.4 Changes in comprehensive vegetation coverage of grasslands in “three mountains” of Ningxia

3 讨论

从“一河三山”生态资源本底状况评价结果可以看出,黄河干流区域地势平坦、黄河水灌溉便利,作为宁夏核心农业廊道,Ⅳ—Ⅴ类地下水水质比例却高达91.3%,灌区土壤盐渍化较重,集中了全区大部分

的盐碱化耕地。贺兰山区水源涵养量、森林覆盖率、草原综合植被盖度受自然禀赋影响,在三山中均处于较低位置,与同类型区域相比,林草植被盖度仍有一定的提升空间。六盘山水资源总量占全区60%以上,但由于人工林面积大,树种单一等^[29]问题,水源涵养能力有所下降,水土流失问题严重。罗山草原

平均质量较低,草原退化问题严重,同时该区域森林结构单一,植被稀疏,覆盖度较低,矿山开采破坏原

生植被,造成地表裸露,风蚀水蚀加剧,生态系统脆弱性持续升高。

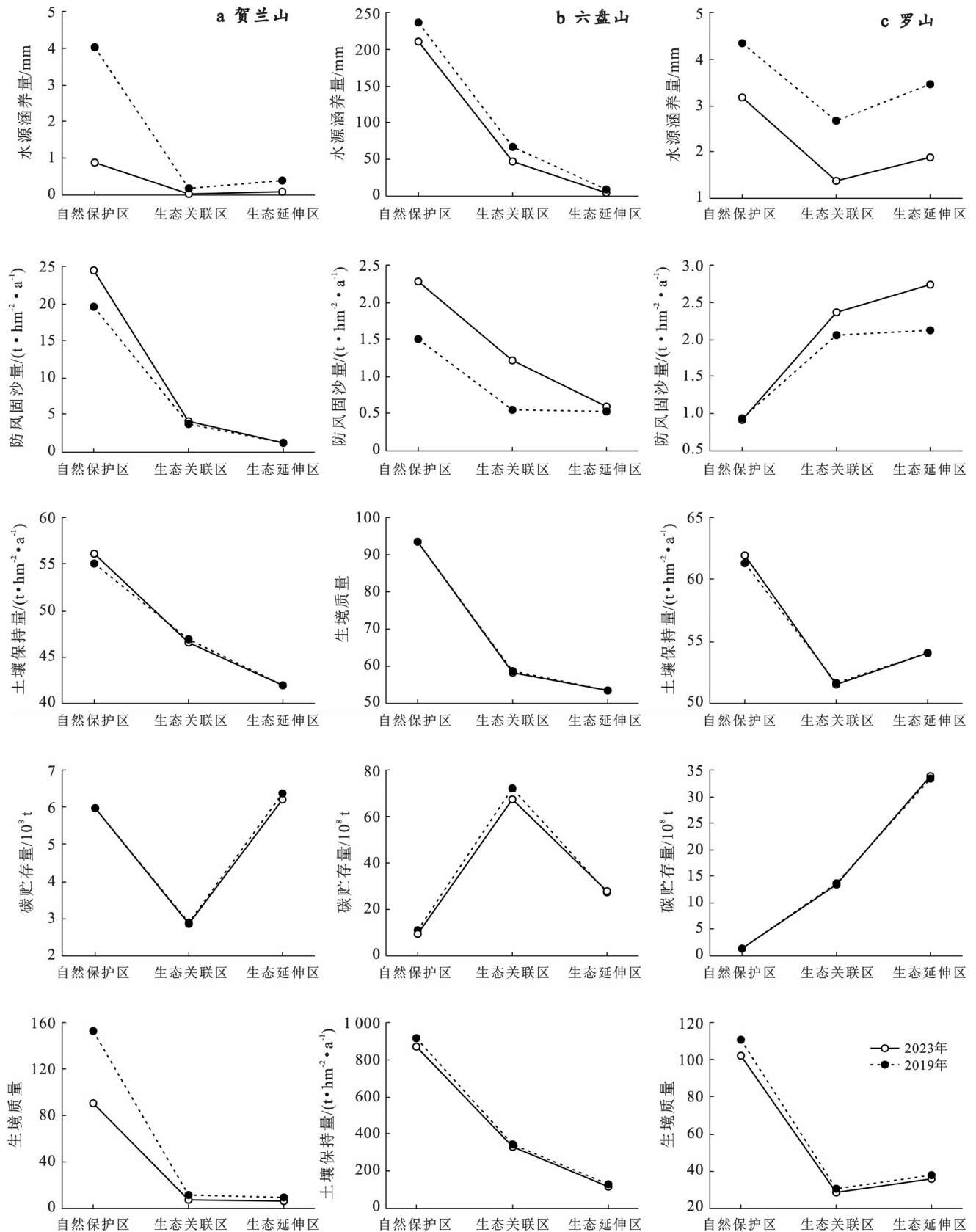


图 5 研究区生态系统服务评价指标统计结果

Fig.5 Statistical results of evaluation indicators for ecosystem services in study area

为实现宁夏生态系统的全面、协调和可持续发展,必须坚持区域联动,分区开展生态修复治理。通过统筹规划,协同推进,针对不同区域的生态特点和现存问题,提出科学合理的修复建议,以确保生态保护与经济发展协同共进。①黄河干流。以黄河沿线重要湿地为重点,对国家级、自治区级重要湿地实施保护修复,适度生态补水,治理水质污染^[30],提升重要湿地质量,发挥生态服务功能;分区分类开展盐碱耕地治理改良,强化耐碱种源的培育、繁殖和推广,增施有机肥、秸秆还田等措施对盐碱地进行改良利用;以巩固提升北部生态屏障、黄河东岸毛乌素沙地治理成果为重点,实施河东沙地系统治理等项目,全面提升区域水土保持和防风固沙能力。②贺兰山。遵循因地制宜,科学规划,系统治理的原则,关联区以场地平整,采坑回填,植被恢复为主,采用削坡减载等措施治理废弃矿山^[31],恢复受损地形地貌,改善区域生态环境质量;采取生态缓冲带及生态廊道建设措施,开展荒漠化综合防治,高标准建设生态防护林网,加强水源涵养林、防护林建设和退化林修复,提升水源涵养及防风固沙功能。③六盘山。以雨养、节水为导向,巩固现有治理成果,乔灌草结合,合理配置林草植被类型和密度,精准提升森林质量;在关联区、延伸区,推广彭阳县小流域治理经验,加强小流域综合治理,遏制水土流失,持续提升水土保持功能;在云雾山、月亮山、南华山、西华山等区域建设集中连片水源涵养林,通过多树种混交,适地树种补植,草灌乔结合复绿等^[29]措施,加大植树造林力度,整体提升生态保育功能。④罗山。因地制宜,适地适绿,巩固提升森林、草原生态系统质量和稳定性,统筹实施生态系统保护和修复工程及封育保护,切实提升生态系统水土保持功能;以干旱风沙区和罗山自然保护区为重点区域,因地制宜发展林果业,培育沙产业,促进荒漠植被自然演替修复和人工灌木林改造提升,充分利用新能源发展优势对沙戈荒地区开展草光互补、林光互补模式^[32],巩固防沙治沙和荒漠化综合治理成果;聚焦废弃露天矿山造成的植被损毁、地形地貌景观受损等问题,在关联区、延伸区按照安全、生态、景观的治理次序,采取回填矿坑、平整土地等^[31]措施,修复地形地貌、恢复地表植被,防治水土流失。

本研究深入分析“一河三山”的生态本底现状,梳理生态保护存在问题,并针对性提出对策建议。然而,研究对“一河三山”各子区的内在关联关系揭示尚不够充分,相互之间的耦合机制缺乏定量刻画,整体生态网络视角尚未生成。未来,项目组将持续

开展宁夏“一河三山”生态资源本底状况监测,全面掌握区域生态状况及变化趋势,深入研究“一河三山”各子区的内在关联关系、耦合机制,识别关键障碍因子,对于制定科学有效的生态保护和修复策略,实现宁夏生态系统的可持续发展具有极其重要的意义

4 结论

(1) 宁夏生态系统复杂多样,生态资源禀赋各异,生态资源总面积为 $4.89 \times 10^6 \text{ hm}^2$,且空间分布不均,以农田,森林,草原为主,总体结构呈现“三田四草二分林”的特点。

(2) 黄河干流作为核心农业廊道,耕地质量达4.45等,却面临地下水水质Ⅳ,Ⅴ类所占比例达91.3%与盐渍化耕地集聚的双重胁迫。

(3) 贺兰山区防风固沙功能突出,但水源涵养量不足六盘山的0.9%,植被覆盖率较低(NDVI为0.32)。

(4) 六盘山水资源总量占全区60.3%,但由于人工林面积大,树种单一等问题,水源涵养能力有所下降。

(5) 罗山区草原沙化风险显著,采矿用地占全区34.3%,生态系统脆弱性持续升高。

参考文献(References)

- [1] 中华人民共和国自然资源部.自然资源部关于保护和永续利用自然资源扎实推进美丽中国建设的实施意见(自然资发[2024]150号)[EB/OL](2024-08-05)[2025-06-13].https://gi.mnr.gov.cn/202408/t20240820_2855357.html Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. Implementation Opinions of the Ministry of Natural Resources on Protecting and Sustainably Utilizing Natural Resources to Solidly Advance the Construction of a Beautiful China (Natural Resources Development [2024]No. 150) [EB/OL] (2024-08-05) [2025-06-13]. https://gi.mnr.gov.cn/202408/t20240820_2855357.html.
- [2] 宁夏回族自治区人民政府.中国共产党宁夏回族自治区第十三届委员会第五次全体会议公报[EB/OL].(2023-09-26)[2025-06-01].https://www.nx.gov.cn/zwxw_11337/nxyw/202309/t20230926_4289180.html People's Government of Ningxia Hui Autonomous Region. Communiqué of the Fifth Plenary Session of the 13th Committee of the Communist Party of China Ningxia Hui Autonomous Region [EB/OL] (2023-09-26) [2025-06-01]. https://www.nx.gov.cn/zwxw_11337/nxyw/202309/t20230926_4289180.html.
- [3] 陈军,武昊,张继贤,等.自然资源调查监测技术体系构建的方向与任务[J].地理学报,2022,77(5):1041-1055. Chen Jun, Wu Hao, Zhang Jixian, et al. Building natural

- resources surveying and monitoring technological system: Direction and research agenda [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022,77(5):1041-1055.
- [4] 陈超,陶畅,张大骞. 自然资源调查监测立体时空数据库建设探索:以江苏省为例[J]. *测绘通报*, 2025, 41(7): 159-163.
Chen Chao, Tao Yang, Zhang Daqian. Construction of a three-dimensional spatio-temporal database for natural resource investigation and monitoring: Taking Jiangsu Province as an example [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2025,41(7):159-163.
- [5] 邱倩倩,钟丽蓉,宋玉兵. 江苏省自然资源综合分析评价方法研究[J]. *测绘科学*, 2022,47(8):70-78.
Qiu Qianqian, Zhong Lirong, Song Yubing. Study on comprehensive evaluation methods of natural resources in Jiangsu Province [J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2022,47(8):70-78.
- [6] 黄景金,郭伟立,韦忠扬,等. 自然资源调查监测技术体系研究与实践:以广西壮族自治区为例[J]. *自然资源遥感*, 2023,35(4):192-200.
Huang Jingjin, Guo Weili, Wei Zhongyang, et al. Research and applications of the technology system for natural resource survey and monitoring: A case study of Guangxi [J]. *Remote Sensing for Natural Resources*, 2023,35(4):192-200.
- [7] 袁承程,高阳. 我国自然资源综合调查监测发展历程、问题与建议[J]. *草业科学*, 2022,39(12):2670-2682.
Yuan Chengcheng, Gao Yang. Development history, problems, and suggestions for the comprehensive surveyance and monitoring of natural resources in China [J]. *Pratacultural Science*, 2022,39(12):2670-2682.
- [8] 张建海,马国庆,吕勇洪,等. 宁夏自然资源全域全要素调查探索与实践[J]. *地理空间信息*, 2023,21(4):99-102.
Zhang Jianhai, Ma Guoqing, Lyu Yonghong, et al. Exploration and practice on the all elements investigation of natural resources in Ningxia [J]. *Geospatial Information*, 2023,21(4):99-102.
- [9] 唐菲,贾丹,魏鹏. 宁夏自然资源调查监测关键技术研究与实践[J]. *中国资源综合利用*, 2023,41(12):55-57.
Tang Fei, Jia Dan, Wei Peng. Research and practice on key technologies for natural resource investigation and monitoring in Ningxia [J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2023,41(12):55-57.
- [10] 柳新伟,周厚诚,李萍,等. 生态系统稳定性定义剖析[J]. *生态学报*, 2004,24(11):2635-2640.
Liu Xinwei, Zhou Houcheng, Li Ping, et al. A conceptual analysis of ecosystem stability [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004,24(11):2635-2640.
- [11] 杨清可,段学军,王磊,等. 长三角地区城市土地利用与生态环境效应的交互作用机制研究[J]. *地理科学进展*, 2021,40(2):220-231.
Yang Qingke, Duan Xuejun, Wang Lei, et al. Mechanism of interaction between urban land expansion and ecological environment effects in the Yangtze River delta [J]. *Progress in Geography*, 2021,40(2):220-231.
- [12] 田智慧,尹传鑫,王晓蕾. 鄱阳湖流域生态环境动态评估及驱动因子分析[J]. *环境科学*, 2023,44(2):816-827.
Tian Zhihui, Yin Chuanxin, Wang Xiaolei. Dynamic monitoring and driving factors analysis of ecological environment quality in Poyang Lake basin [J]. *Environmental Science*, 2023,44(2):816-827.
- [13] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. *Ecological Economics*, 1997,25(1):3-15.
- [14] 艾佳超,宋宜全,杨以琳. 基于多源数据的京津冀地区生态环境状况评价与分析[J]. *天津师范大学学报(自然科学版)*, 2025,45(3):58-67.
Ai Jiachao, Song Yiquan, Yang Yilin. Evaluation and analysis of ecological environment status in Beijing-Tianjin-Hebei region based on multi-source data [J]. *Journal of Tianjin Normal University (Natural Science Edition)*, 2025,45(3):58-67.
- [15] 杨清可,王磊,吕立刚,等. 江苏土地生态状况评价及其障碍因子诊断[J]. *环境科学*, 2024,45(10):5880-5889.
Yang Qingke, Wang Lei, Lü Ligang, et al. Evaluation of land ecological status and diagnosis of obstacle factors in Jiangsu, China [J]. *Environmental Science*, 2024,45(10):5880-5889.
- [16] 宁夏回族自治区人民代表大会常务委员会. 宁夏回族自治区建设黄河流域生态保护和高质量发展先行区促进条例[EB/OL] (2022-01-24) [2025-06-01]. http://www.nxrd.gov.cn/rdzt/zzqrmdbdh/sejrmbdhdwchy/hywj/202201/t20220124_502157.html.
Standing Committee of the People's Congress of Ningxia Hui Autonomous Region. Regulations of Ningxia Hui Autonomous Region on Promoting the Construction of a Pilot Zone for Ecological Protection and High-Quality Development in the Yellow River Basin [EB/OL] (2022-01-24) [2025-06-01]. http://www.nxrd.gov.cn/rdzt/zzqrmdbdh/sejrmbdhdwchy/hywj/202201/t20220124_502157.html.
- [17] 梁雨,丁忠义,张艳. 黄河流域宁夏段景观生态风险时空演变及驱动因素研究[J]. *贵州师范大学学报(自然科学版)*, 2026,44(1):119-132.
Liang Yu, Ding Zhongyi, Zhang Yan. Research on the temporal and spatial evolution of landscape ecological risk in Ningxia section of Yellow River Basin [J]. *Journal of Guizhou Normal University (Natural Sciences)*, 2026,44(1):119-132.
- [18] 王宵,刘冰,赵文智,等. 1980—2020年宁夏生态服务价

- 值与生态风险特征[J]. 中国沙漠, 2024, 44(5):182-194.
- Wang Xiao, Liu Bing, Zhao Wenzhi, et al. Characteristics of ecological service value and ecological risk changes in Ningxia, China in 1980—2020 [J]. *Journal of Desert Research*, 2024, 44(5):182-194.
- [19] 马明德, 李俊杰, 薛晨皓. 宁夏区域发展对环境胁迫的时空演变及驱动机制分析[J]. 干旱区地理, 2024, 47(6):1061-1072.
- Ma Mingde, Li Junjie, Xue Chenhao. Spatiotemporal evolution and driving mechanism of environmental stress of regional development in Ningxia Hui Autonomous Region [J]. *Arid Land Geography*, 2024, 47(6):1061-1072.
- [20] 潘玉豪, 陈云皓, 张旭晨, 等. 宁夏土地荒漠化敏感度时空变化分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2020, 56(4):582-590.
- Pan Yuhao, Chen Yunhao, Zhang Xuchen, et al. Spatiotemporal changes analysis of land desertification sensitivity in Ningxia, China [J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2020, 56(4):582-590.
- [21] 林妍敏, 南雄雄, 胡志瑞, 等. 西北典型生态脆弱区植被覆盖度时空变化及其生态安全评价: 以宁夏贺兰山为例[J]. 生态与农村环境学报, 2022, 38(5):599-608.
- Lin Yanmin, Nan Xiongiong, Hu Zhirui, et al. Fractional vegetation cover change and its evaluation of ecological security in the typical vulnerable ecological region of northwest China: Helan Mountains in Ningxia [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2022, 38(5):599-608.
- [22] 丁志宏, 冯宇鹏, 丛娜. 宁夏水安全保障规划中的水生生态保护与修复规划工作若干思考[J]. 海河水利, 2020(1):22-26.
- Ding Zhihong, Feng Yupeng, Cong Na. Reflections on protection and restoration planning of water ecology in water safety plan of Ningxia [J]. *Haihe Water Resources*, 2020(1):22-26.
- [23] Yang Yuhui, Qin Tianling, Yan Denghua, et al. Analysis of the evolution of ecosystem service value and its driving factors in the Yellow River source area, China [J]. *Ecological Indicators*, 2024, 158:111344.
- [24] 张彪, 王爽, 李庆旭, 等. 京津风沙源治理工程区水源涵养功能时空变化分析[J]. 生态学报, 2021, 41(19):7530-7541.
- Zhang Biao, Wang Shuang, Li Qingxu, et al. Spatiotemporal changes of water conservation service in the Beijing-Tianjin sandstorm source control project area [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(19):7530-7541.
- [25] Tan Lei, Yang Guishan, Zhu Qing, et al. Optimizing payment for ecosystem services in a drinking water source watershed by quantifying the supply and demand of soil retention service [J]. *Journal of Environmental Management*, 2023, 331:117303.
- [26] 王婧煜, 赵媛媛, 耿君, 等. 京津风沙源治理工程区生态系统服务供需匹配关系[J]. 农业工程学报, 2025, 41(4):279-287.
- Wang Jingyu, Zhao Yuanyuan, Geng Jun, et al. Supply-demand matching on ecosystem services in the Beijing-Tianjin sandstorm source control project area [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2025, 41(4):279-287.
- [27] 张秀, 张璇, 崔磊, 等. 金沙江中游水电开发区生态系统服务综合功能时空变化与归因[J]. 环境科学, 2025, 46(3):1585-1596.
- Zhang Xiu, Zhang Xuan, Cui Lei, et al. Comprehensive ecosystem service changes and their drivers in the middle reaches of Jinsha River [J]. *Environmental Science*, 2025, 46(3):1585-1596.
- [28] 张冬韵, 吴田军, 骆剑承, 等. 时空协同的农业种植结构遥感精细制图[J]. 遥感学报, 2024, 28(8):2014-2029.
- Zhang Dongyun, Wu Tianjun, Luo Jiancheng, et al. Precise crop planting structure mapping method based on spatial-temporal collaboration of remote sensing [J]. *National Remote Sensing Bulletin*, 2024, 28(8):2014-2029.
- [29] 包玉斌, 黄涛, 王耀宗, 等. 基于生态重要性与敏感性的六盘山区生态保护修复分区[J]. 干旱区地理, 2023, 46(11):1778-1791.
- Bao Yubin, Huang Tao, Wang Yaozong, et al. Zoning for ecological conservation and restoration in Liupan Mountain area based on ecological importance and sensitivity evaluation [J]. *Arid Land Geography*, 2023, 46(11):1778-1791.
- [30] 刘金花, 郑永兴, 李威, 等. 基于生态退化风险的国土空间生态修复区域优先序划定: 以黄河流域山东段为例[J]. 中国环境科学, 2025, 45(3):1587-1600.
- Liu Jinhua, Zheng Yongxing, Li Wei, et al. Regional prioritization of territorial spatial ecological restoration based on ecological degradation risk: A case study of the Shandong Section of the Yellow River basin [J]. *China Environmental Science*, 2025, 45(3):1587-1600.
- [31] 张进德, 郗富瑞. 我国废弃矿山生态修复研究[J]. 生态学报, 2020, 40(21):7921-7930.
- Zhang Jinde, Xi Furui. Study on ecological restoration of abandoned mines in China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(21):7921-7930.
- [32] 田娜玲, 李庆波, 郭立明, 等. 2004—2019年宁夏荒漠化和沙化土地动态变化分析[J]. 林草资源研究, 2024(5):29-37.
- Tian Naling, Li Qingbo, Guo Liming, et al. Dynamic analysis of desertification and sandification of Ningxia Province from 2004—2019 [J]. *Forest and Grassland Resources Research*, 2024(5):29-37.