

青海省2004—2023年水土流失 变化及其驱动力

朱安京^{1,2}, 吴幽^{1,2}, 李文证^{1,2,3,4}

(1.青海民族大学土木与交通工程学院,青海西宁810007; 2.青海省教育厅重点实验室 高原能源与环境工程实验室,青海西宁810007; 3.西北农林科技大学水土保持科学与工程学院,陕西杨凌712100; 4.中国科学院水利部水土保持生态工程技术研究中心,陕西杨凌712100)

摘要: [目的] 系统分析青海省2004—2023年水土流失变化趋势及驱动因素,为高寒区水土保持提供科学依据。[方法] 采用相关分析及马尔科夫转移矩阵,研究了青海省水土流失面积的变化趋势及其与治理资金投入、水土保持监督管理、各类治理措施的治理面积等因素的关系。[结果] 2004—2023年,青海省水土流失面积从 2.04×10^5 km²下降到 1.59×10^5 km²,中度侵蚀面积占比从22.5%减小到11.4%,强烈及以上侵蚀面积占总侵蚀面积的比例从37.2%减小到17.0%。加大治理资金投入、加强监督管理是水土流失面积减少的主要驱动力。[结论] 青海省水土流失治理呈现显著改善趋势,水土流失面积逐年减少,但仍存在亟待解决的问题;水土保持工作逐渐从全域性粗放治理转向重点区域精准治理。今后工作的重点是风力侵蚀和轻度侵蚀区域的治理,同时巩固治理成果,防止轻度侵蚀向强烈侵蚀发育,建立水土保持生态产品价值实现机制,实现水土流失治理工作可持续发展。

关键词: 水土流失; 侵蚀治理; 治理建议; 青海省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2025)06-0181-09

中图分类号: S157.1

文献参数: 朱安京, 吴幽, 李文证. 青海省2004—2023年水土流失变化及其驱动力[J]. 水土保持通报, 2025, 45(6): 181-189. Zhu Anjing, Wu You, Li Wenzheng. Soil erosion changes and driving factors in Qinghai Province from 2004 to 2023 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2025, 45(6): 181-189.

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2025.06.004

CSTR: 32312.14.stbctb.2025.06.004

Soil erosion changes and driving factors in Qinghai Province from 2004 to 2023

Zhu Anjing^{1,2}, Wu You^{1,2}, Li Wenzheng^{1,2,3,4}

(1.School of Civil and Transportation Engineering, Qinghai Minzu University, Xining, Qinghai 810007, China; 2.Qinghai Provincial Key Laboratory of Energy and Environmental Engineering of Plateau, Xining, Qinghai 810007, China; 3.College of Soil and Water Conservation Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 4.Research Center on Soil and Water Conservation, Ministry of Water Resources, Chinese Academy of Sciences, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: [Objective] The trend of soil erosion in Qinghai Province from 2004 to 2023 and its driving factors were systematically analyzed, in order to provide a scientific basis for soil and water conservation in alpine regions. [Methods] By analyzing the soil erosion situation and conservation efforts in Qinghai Province from 2004 to 2023, and using correlation analysis, this study identified the changing trend of soil erosion area in Qinghai Province and its relationship with factors such as investment in soil and water conservation, supervision and management efforts, and the area treated by various control measures. [Results] The area of soil erosion in Qinghai Province decreased from 2.04×10^5 km² in 2004 to 1.59×10^5 km² in 2023. The proportion of moderately eroded area

收稿日期: 2025-04-28

修回日期: 2025-07-22

采用日期: 2025-07-22

资助项目: 青海省重点研发项目“极寒环境沥青路面抗滑特性劣化与自修复关键技术研究”(2025-QY-229); 国家重点研发计划项目“陕甘黄土丘陵区适水改土与生态保育协同技术集成及示范”(2021YFD1900700); 青海民族大学领雁项目“高寒区水库溯源冲刷机理及规律研究”(23GCC20); 青海民族大学大学生创新创业训练计划项目“生物炭对高寒区土壤理化性质的影响”(DCXM-2025-089)

第一作者: 朱安京(2004—), 男(汉族), 河北省衡水市人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持工程。Email: zaj_0728@163.com。

通信作者: 李文证(1991—), 男(汉族), 河南省兰考县人, 博士, 副教授, 主要从事高寒区水土保持工程研究。Email: lwz_0512@163.com。

decreased from 22.5% to 11.4%, and the proportion of severely and above eroded area of the total eroded area decreased from 37.2% to 17.0%. Increasing investment in soil and water conservation funds and strengthening supervision and management were the main driving forces for the reduction of soil erosion area. [Conclusion] Overall, soil erosion control in Qinghai Province has shown a significant improving trend, with the soil erosion area decreasing year by year. However, there are still problems that need to be addressed. Soil and water conservation efforts have gradually shifted from generalized and extensive management across the entire region to targeted management in key areas. Future work will focus on regions affected by wind erosion and mild erosion. Additionally, the achievements of the control efforts will be consolidated, and the progression from mild erosion to severe erosion will be prevented. The establishment of a value realization mechanism of soil and water conservation ecological products should be accelerated, and the sustainable development of soil erosion control efforts should be established.

Keywords: soil erosion; erosion control; control recommendations; Qinghai Province

青海省位于中国西北部,地处青藏高原东北边缘,地域辽阔,地形复杂,生态系统结构完整,生态环境脆弱,平均海拔高度4 000 m以上^[1],是中国重要水源地,被誉为亚洲水塔,其生态地位非常重要^[2]。

水土流失是一个严重的全球性环境问题,会导致土地退化、土壤养分流失、土壤肥力降低,对农业可持续发展构成严峻挑战^[3]。中国水土流失面积占国土面积的39.72%,是世界上水土流失最严重的国家之一,中国每年水土流失造成的损失高达100亿元以上^[4]。目前青海省的水土流失问题仍较为严重,鄂德立、孙维营等^[5]、郑国强等^[6]对青海省目前的水土保持现状进行了分析,并探讨了可持续发展对策。

目前,水土流失治理研究主要集中在3个方面:①关于流域水土流失原因及存在问题的分析;②对水土流失治理模式进行探究;③对水土流失治理效率的研究^[7]。水土保持是指对自然因素和人为活动造成水土流失所采取的预防和治理措施^[8],是生态文明建设的重要环节,是全面贯彻生态文明思想、贯彻落实新发展理念的必然要求^[9]。推动水土保持高质量发展是新阶段水土保持工作的主题^[10]。

水土流失受气候、地貌、土壤等自然因素和人类活动的影响,其中人类活动是最活跃的影响因素^[11]。随着工业化、城市化的快速发展,人类活动对自然环境的影响日益加剧,成为水环境的主要污染源之一^[12]。水土流失对土壤微生物多样性和功能具有显著的负面影响^[13]。虽然青海省每年都会投入一定资金用于水土流失的治理,但同时又在建设三江源、祁连山等一系列国家公园,因而水土流失治理资金显得相对不足^[14]。

尽管青海省水土流失治理已取得阶段性成果,但其高海拔、脆弱生态背景下,风力侵蚀主导的侵蚀机制与治理措施的生态效益、可持续性仍需量化评

估。同时,青藏高原东北部作为气候变化敏感区,其水土流失过程中自然因素(如冰川消融、冻融循环)与人为活动(如生态工程、畜牧业扩张)的耦合作用机制尚未明确,尤其在风力侵蚀与水力侵蚀的转化阈值、轻度侵蚀逆向发育的触发条件等方面存在研究空白。本研究通过分析2004—2023年青海省《水土保持公报》中的水土治理基础数据,旨在揭示20 a间青海省水土流失动态变化的驱动机制,探究不同治理措施在高原环境中的适应性差异,并基于治理效果提出合理的治理建议,为高寒区水土保持提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

青海省境内山脉纵横,地形复杂,整体地势呈现西高东低、南北高中部低的态势(图1)。气候属于高原大陆性气候,年平均气温 $-5.1\sim 8.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,年平均降水量 370.5 mm ^[15]。境内河流众多,流域面积 50 km^2 及以上的河流3 518条,河长100 km以上的有128条,年平均径流量在 $1.00\times 10^8\text{ m}^3$ 以上的有122条^[16]。全省水土流失面积 $1.59\times 10^5\text{ km}^2$ 。青海省的土地利用类型丰富多样,草地覆盖全省境内,是青海省最大的土地利用类型(截至2020年占比55%)^[17];林地主要分布在省内东南部、中部局部区域;耕地主要分布在东部地区和中部局部区域;湿地及水体主要分布在中部、西部部分区域;人造地表主要分布在东部及西部部分区域;裸地主要分布在中部、北部和西部区域^[18](图2)。

1.2 数据来源

1.2.1 高程

高程数据来源于国家地球系统科学数据中心(www.gscloud.cn),获取90 M分辨率的数字高程数

据,在 ArcGIS 中,通过“栅格计算”得到研究区高程概况图。

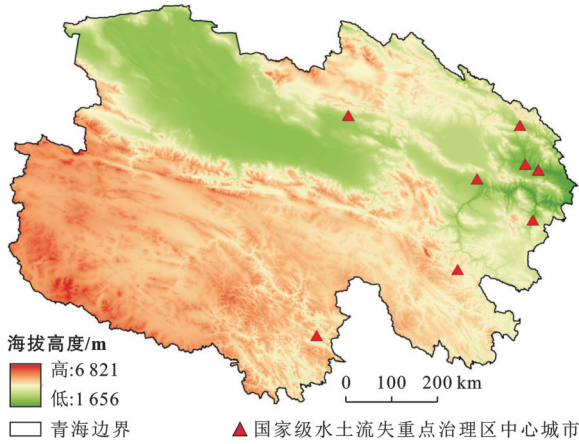


图 1 青海省地形图

Fig.1 Topographic map of Qinghai Province

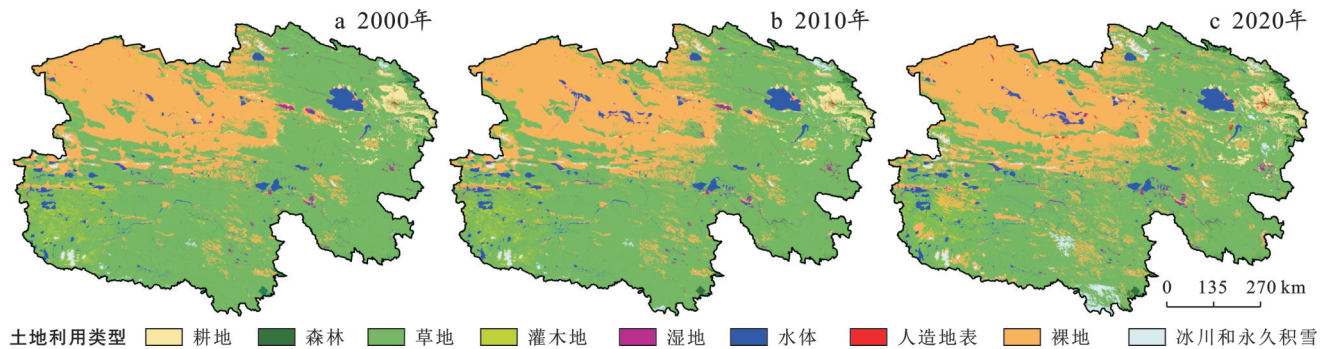
1.2.2 水土流失及治理措施

青海省自 2004 年开始发布《青海省水土保持公

报》^[19]。根据水土保持公报提供的数据,在 Origin 中进行分析、归纳和梳理青海省水土流失及治理措施数据。根据《土壤侵蚀强度分级标准》(SL190—2007),将侵蚀模数 ≤ 5 , $5\sim 25$, $25\sim 50$, $50\sim 80$, $80\sim 150$, $>150\text{ t/hm}^2$ 定义为微度、轻度、中度、强烈、极强烈、剧烈 6 个强度等级。

1.2.3 土地利用

分别提取 2000,2010,2020 年共 3 期的 Globe Land30 (<http://www.globallandcover.com/>) 数据中空间分辨率为 30 m 的青海省土地利用数据,包括耕地、森林、草地、灌木地、水体、湿地、人造地表、裸地、冰川及永久积雪 9 种土地利用类型,其中中国范围内数据总体精度为 82.39%,高精度地物(如水体、冰雪、裸地等)精度 $>85\%$;中等精度地物(如耕地、森林、人造地表)精度为 $70\%\sim 85\%$;低精度地物(如湿地、灌木地等)精度 $<70\%$ ^[20]。在 ArcGIS 中,通过“掩膜提取”,得到三期土地利用数据。



注:人造地表是人类活动对陆地表层影响的直接体现,主要由城乡居住用地、工矿设施及交通基础设施构成。裸地指无植被覆盖的裸露地表,是植物群落形成与演替的初始环境。

图 2 青海省 2000—2020 年土地利用类型

Fig.2 Land use types in Qinghai Province during 2000—2020

1.2.4 水土流失重点防治区

根据《全国水土保持规划(2015—2030 年)》(https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2015-10/17/content_10232.htm)中的国家级水土流失重点预防和重点治理区复核划分图,整理得到青海省国家级水土流失重点防治区。依据《青海省水土保持规划(2016—2030 年)》(<http://www.qhsb.org.cn/index.php/xinwenzhongxin/zonghezixun/1437.html>)中划分的 1 个省级水土流失重点预防区,3 个省级水土流失重点治理区,基于各县级行政区划数据,整合提取了青海省省级水土流失重点防治区。

1.3 分析方法

1.3.1 相关性分析

采用 SPSS (statistical product and service

solutions) 软件,研究 2 个或 2 个以上不同变量间的相关性和紧密程度^[21]。一般地, $|r|>0.95$ 时,存在显著性相关; $|r|>0.8$ 时,高度相关; $0.5\leq|r|\leq 0.8$ 时,中度相关; $0.3\leq|r|<0.5$ 时,低度相关; $|r|<0.3$ 时,关系极弱,认为不相关。

利用 Pearson 相关系数对定距变量的数据进行计算,计算公式为

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

式中: r 为相关系数; \bar{X} , \bar{Y} 分别是变量 X , Y 的均值; X_i , Y_i 分别是变量 X , Y 的第一个 i 的观测值。

1.3.2 马尔科夫转移矩阵

为分析 2000, 2010, 2020 年各期土地利用类型的相互转变, 采用马尔科夫转移矩阵定量表征不同土地类型间的转换关系, 揭示不同时期土地利用类型增减的面积变化特征^[22]。马尔科夫转移矩阵的表达式为

$$c = \begin{pmatrix} c_{11} & \cdots & c_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{m1} & \cdots & c_{mn} \end{pmatrix} \quad (2)$$

式中: c_{mn} 为 m 类型与 n 类型相互转换的数值。

2 结果与分析

2.1 水土流失面积变化特征

2.1.1 水土流失面积及侵蚀类型变化特征

研究结果(图 3)表明, 全省水土流失总面积呈现显著下降趋势, 从 2004 年的 $2.04 \times 10^5 \text{ km}^2$ 降至 2023 年的 $1.59 \times 10^5 \text{ km}^2$, 累计减少 22%。这一变化过程呈现明显的阶段性特征: 2004—2011 年为快速下降阶段, 年均减少 $5.00 \times 10^3 \text{ km}^2$; 2018 年后进入稳步下降阶段, 年均减少 $7.00 \times 10^2 \text{ km}^2$ 。这种变化趋势与青海省水土保持政策的阶段性强化以及治理重点的转移密切相关。

从侵蚀类型来看, 研究区表现出显著的空间分异规律。风力侵蚀始终占据主导地位, 其占比为 75%~79%。从治理成效来看, 虽然全省水土流失状况整体改善明显, 但 2018 年后降幅趋缓的现象表明, 剩余侵蚀区域的治理难度正在加大, 尤其是风力侵蚀主导区和强烈侵蚀区的治理仍面临严峻挑战。这种侵蚀类型的空间分异格局要求未来治理工作必须实施更加精细化的分区调控策略。

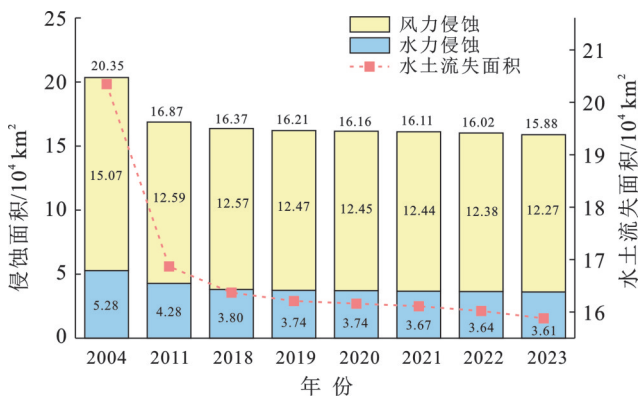
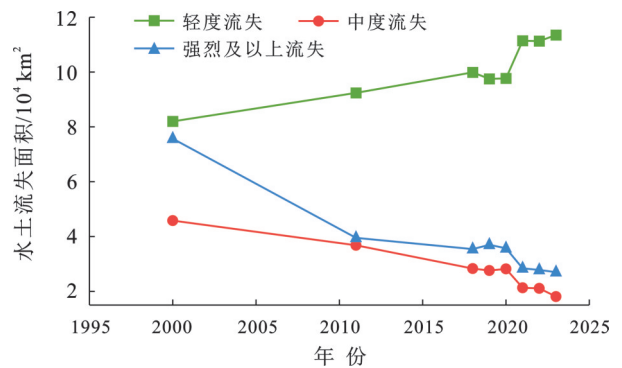


图 3 水土流失面积(不含冻融侵蚀)的总体变化及不同侵蚀类型的动态特征

Fig.3 Overall changes of soil erosion area (excluding freeze-thaw erosion) and dynamic characteristics of different erosion types

2.1.2 不同侵蚀等级水土流失面积

图 4 反映了 2004—2023 年轻度、中度、强烈及以上等级的水土流失面积变化趋势。可以看出, 从 2004 年开始, 中度及以上的水土流失面积均呈下降趋势, 且轻度侵蚀的面积占总侵蚀面积从 40.3% 增加到 71.5%; 中度侵蚀的面积占总侵蚀面积从 22.5% 减少到 11.4%; 强烈及以上侵蚀的面积占总侵蚀面积从 37.2% 减少到 17.0%。同时, 轻度侵蚀和中度及以上侵蚀面积占比初期约为 1:1, 2023 年轻度侵蚀面积占比显著增加, 侵蚀面积占比 70%。自 2000 年以来, 不同强度的水土流失面积总体呈现: 轻度 > 中度 > 强烈及以上。



注: 强烈及以上流失=强烈侵蚀+极强烈侵蚀+剧烈侵蚀。

图 4 不同水土流失强度面积变化特征

Fig.4 Characteristics of area changes with different soil erosion intensities

总的来看, 中度及以上侵蚀强度呈现下降趋势, 轻度侵蚀呈现上升趋势, 且中度及以上水土流失面积减少幅度大于轻度水土流失面积增大幅度, 因而水土流失面积呈下降趋势。表明部分中度及以上水土流失经过治理转变为轻度水土流失。但海西州、海北州、海东市中度及以上的水土流失面积占比仍然很高, 其治理将成为“十四五”及后续时期青海省水土流失治理工作的难点和重点。

2.1.3 重点地区的水土流失面积变化

目前青海省共有 3 个国家级水土流失重点区, 分别是三江源国家级水土流失重点预防区(总面积 $3.80 \times 10^5 \text{ km}^2$), 祁连山-黑河国家级水土流失重点预防区(总面积 $2.04 \times 10^4 \text{ km}^2$), 甘青宁黄土丘陵国家级水土流失重点治理区(土地总面积 $2.61 \times 10^4 \text{ km}^2$)。图 5 表明, 2018—2023 年, 三江源地区水土流失面积降低 3.77%, 轻度侵蚀面积增加 38.90%, 中度侵蚀面积降低 56.95%, 强烈及以上侵蚀面积减小 67.11%。祁连山-黑河地区水土流失面积降低 4.02%, 轻度侵蚀面积增加 5.4%, 中度侵蚀面积降低 11.03%, 强烈

及以上侵蚀面积减小 6.98%。甘青宁黄土丘陵区水土流失面积减小 9.48%,轻度侵蚀面积减小 3.61%,中度侵蚀面积减小 13.77%,强烈及以上侵蚀面积减小 10.82%。

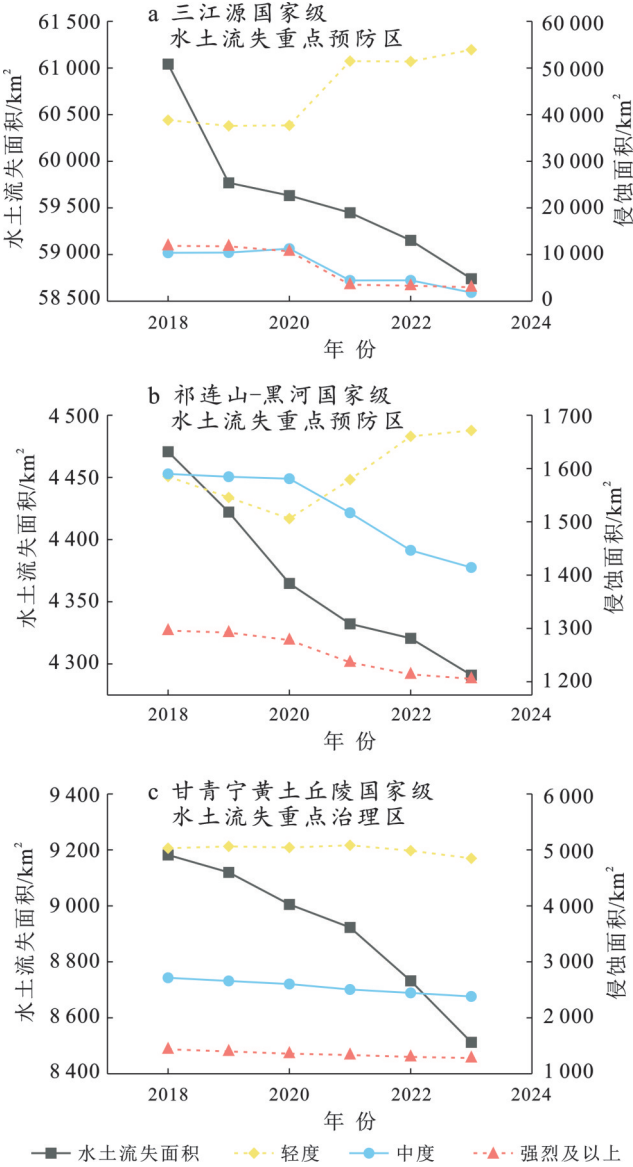


图 5 青海省国家级水土流失重点区水土流失面积及不同侵蚀类型的面积

Fig.5 Areas of soil erosion and different erosion types in national key soil erosion control zones in Qinghai Province

经过多年治理,目前 3 个国家级水土流失重点区水土流失面积呈下降趋势,轻度侵蚀面积略有增加,中度和强烈及以上侵蚀面积呈下降趋势。其治理结果得益于各治理区因地制宜的治理措施,对比 3 个区域,水土流失面积变化趋势各异,表明不同区域生态系统对自然因素和人为活动响应存在差异。在此后的水土流失治理中需因地制宜,三江源地区应巩固现有生态成果,加强对极端气候的应对措施;祁连山-黑河国家

公园要着重处理气候变化与人类活动对生态系统的双重影响,强化生态修复与监管;甘青宁黄土丘陵区则需重点防治水土流失,加强生态保护与修复工作。

2.2 水土流失治理情况

2.2.1 水土流失资金与监督管理

目前,青海省水土流失治理工作主要是政府主导,2004 年开始采取加大水土流失治理资金投入,增加水土流失建设项目审批方案等一系列措施。相关性分析表明,水土流失面积与治理面积、资金投入及项目审批数均呈负相关,但关联强度存在显著差异(图 6)。审批方案与水土流失面积呈高度负相关($r = -0.79$),相关系数绝对值大于 0.7,表明建设项目水土保持方案审批制度的严格落实,能从源头上规范人类生产建设活动,有效遏制新增水土流失风险。治理面积与水土流失面积呈中度负相关($r = -0.57$), $0.5 \leq |r| \leq 0.8$,表明淤地坝、植被恢复等治理工程的实施,对水土流失的消减作用显著,但受高原生态脆弱性和治理措施见效周期影响,效应强度弱于监管手段。资金投入与水土流失面积相关系数仅为 -0.23,呈极弱负相关,这与青海省同步推进三江源、祁连山国家公园生态保护,水土流失专项治理资金分散投入多领域有关,凸显当前资金配置的针对性不强,需优化投入结构,提升使用效率。

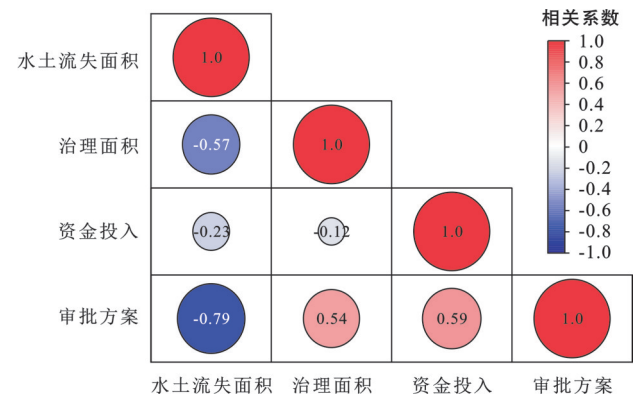


图 6 青海省水土流失治理要素相关性矩阵

Fig.6 Correlation matrix of soil erosion control factors in Qinghai Province

审批方案与治理面积呈中度正相关($r = 0.54$),说明严格的监管机制可促进治理工程落地实施,强化“事前防控—事中治理”协同;资金投入与审批方案呈中度正相关($r = 0.59$),体现政策引导下资金向监管聚焦领域倾斜,但资金投入与治理面积呈弱相关($r = -0.12$),表明资金在治理环节的精准投放、效益转化存在提升空间。

因此,短期内强化水土保持监督管理(尤以项目审批制度为核心)是快速遏制水土流失的关键抓手;

未来需突破资金-治理协同瓶颈,通过精准投入、科学施策,为青海省水土流失防治策略优化提供量化支撑。

2.2.2 各类水土流失防治措施

为有效防治水土流失,青海省实施了多项水土流失防治措施,例如,采用坡改梯,恢复基本农田;以保护农田生态系统为重点,推进高标准农田建设,完善农田灌溉排水体系,因地制宜建设农田防护林,实现土壤持续利用;坚持山水林田湖草沙冰一体化保护和综合治理;采用围栏封育,加强天然林和草原的保护修复。

2004—2023年实施的各类水土流失治理措施的治理效果(图7)表明,围栏封育对水土流失的治理效果显著。恢复基本农田、水保造林、种草3项措施自2004年以来治理效果不显著,相关系数为:封育(0.69)>种草(0.36)>基本农田(0.29)>水土保持林(-0.22),表明并非所有治理措施都适合青海省的水文、地质环境,因此在水土流失治理工作中,要采取适合当地环境的水土流失防治措施。

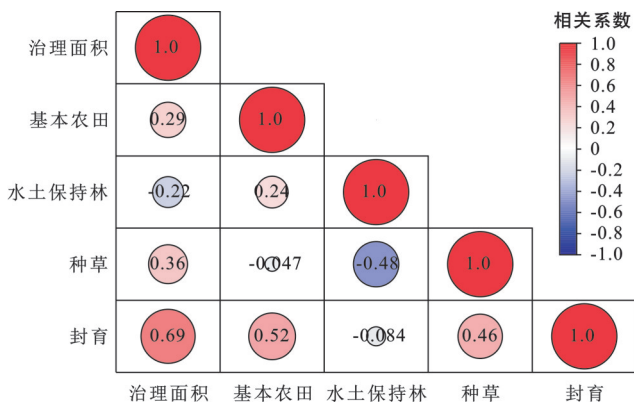


图7 青海省水土流失治理措施相关性矩阵

Fig.7 Correlation matrix of soil erosion control measures in Qinghai Province

3 讨论

3.1 青海省2004—2023年水土保持工作效果显著,水土流失面积显著减少

通过对有统计以来的水土流失数据分析可知,2000—2010年青海省水土流失面积下降速率最快,“十三五”和“十四五”期间,水土流失面积呈稳步下降的趋势。

青海省的土壤侵蚀主要以风力侵蚀为主,占总侵蚀的75%~79%,水力侵蚀占总侵蚀的20%~25%。从2000年开始,中度及以上的水土流失面积呈下降趋势,且轻度侵蚀面积占比从40.29%增加到71.47%,从之前的轻度侵蚀和中度及以上侵蚀面积

占比约为1:1,到目前轻度侵蚀占70%,轻度侵蚀面积占比显著增加,其中三江源地区整体效果呈现向好的变化趋势,轻度侵蚀占比已经达到90%以上。青海省水土流失治理重点应转移到风力侵蚀和轻度侵蚀区域,同时巩固治理成果,防止轻度侵蚀向强烈侵蚀发育。

3.2 未来青海省水土保持工作的着力点

目前,诸多学者将土地利用和生态环境保护相结合,如罗义等^[23]、刘家莉等^[24]、李岩等^[25],分别将土地利用变化和生态环境效应、生态系统服务退化等方面联系起来,其研究区域覆盖中国大部分地区。

根据图8,2000—2020年青海省草地与其他地类(如裸地、耕地等)有明显的转移趋势,说明草地生态系统受干扰程度较大。裸地与其他地类间也存在频繁转换,反映出裸地生态的不稳定性和土地利用的动态变化。冰川和永久积雪有向其他地类转移的趋势,这可能与全球气候变暖导致冰川消融有关,会对区域水资源和生态产生连锁反应。总体来说,青海省的土地利用类型正朝着规范化和有序化的方向发展^[26]。因此,未来青海省水土保持工作的着力点建议放在以下几个方面:①加强草地和林地生态系统的保护,提升植被覆盖率,发挥其保持水土、涵养水源的作用。②针对裸地生态不稳定且易发生水土流失的特点,对现有裸地进行生态修复,根据现有的方式,如建设护坡、种草植树等;同时加强监管,防止新的裸地产生。③湿地和水体对区域生态平衡至关重要,需划定保护红线,防止污染和侵占,实施湿地生态补水、生态修复工程,保障其生态功能,维持水土保持能力。

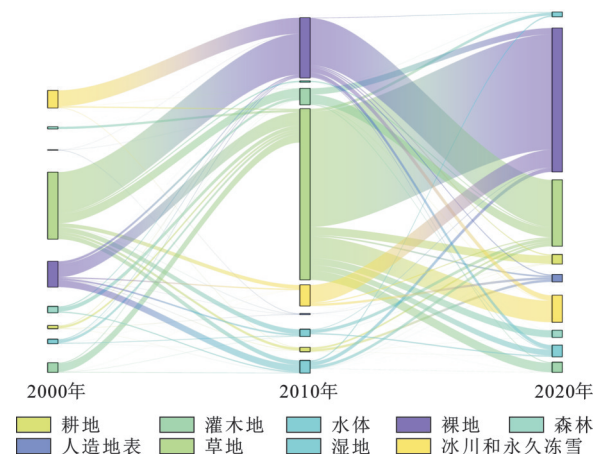


图8 青海省2000—2020年土地利用转移桑基图

Fig.8 Sankey diagram of land use transfer in Qinghai Province (2000—2020)

3.3 加大治理资金投入、加强水土保持监督管理是水土流失面积减少的主要驱动力

青海省水土流失治理工作目前主要是政府主

导,通过分析资金投入、监督管理与水土流失变化情况,结果表明,水土流失治理资金投入与水土流失面积呈高度负相关,水土保持项目审批数量与水土流失面积呈中度负相关,加大治理资金投入,加强水土保持监督管理,可以有效扩大水土流失治理面积、降低水土流失面积。现有的治理措施中,封育措施的治理成效最为显著,其次是基本农田建设措施。

3.4 基于过去20 a青海省水土流失治理效果的治理建议

(1) 分区治理,因地制宜。目前,江苏省^[27]、陕西

省^[28]、甘肃省^[29]均针对各辖区划分了水土流失重点防治区,并针对性地采取治理措施,并取得不错的效果。青海省水土流失重点防治区分为国家级和省级水土流失重点防治区(表1,表2)。具体治理措施应按照国家土地利用类型、水土流失治理方法、资金投入及政策因地制宜。基于前文对青海省土地利用特征及不同水土流失防治措施治理效果的分析,建议结合区域自然地理分异规律开展科学区划,针对各重点防治区实施差异化治理策略,确保治理措施与区域自然条件相适应,提升水土流失治理的科学性与实效性。

表1 青海省国家级水土流失重点防治区
Table 1 National key soil erosion control zones in Qinghai Province

防治区名称	县级单位	面积/10 ⁴ km ²
三江源国家级水土流失重点预防区	海南州共和县、贵南县、兴海县、同德县,黄南州泽库县、河南县,果洛州玛沁县、甘德县、久治县、班玛县、达日县、玛多县,玉树州玉树市、称多县、囊谦县、杂多县、治多县、曲麻莱县,海西州格尔木市(唐古拉山镇)	37.96
祁连山-黑河国家级水土流失重点预防区	海北州门源县、祁连县	2.04
甘青宁黄土丘陵国家级水土流失重点治理区	西宁市城东区、城西区、城北区、湟中区、大通县、湟源县,海东市乐都区、平安区、互助县、民和县、化隆县、循化县,海南州贵德县,黄南州尖扎县	2.61

表2 青海省省级水土流失重点防治区
Table 2 Provincial key soil erosion control zones in Qinghai Province

防治区名称	县级单位	面积/10 ⁴ km ²
柴达木盆地省级水土流失重点预防区	海西州茫崖市、大柴旦行委	7.06
隆务河省级水土流失重点治理区	黄南州同仁市	0.35
青海湖省级水土流失重点治理区	海北州刚察县、海晏县,海西州乌兰县、天峻县	5.19
柴达木盆地省级水土流失重点治理区	海西州格尔木市(不含唐古拉山镇)、德令哈市、都兰县	14.45

(2) 封育为主,兼修工程。青海省地处青藏高原典型生态脆弱区,水土流失治理过程中,首要考虑的是生态安全问题。封山育林是最适宜的治理措施,同时针对难以自然修复的特殊情况,适当增加工程措施,如修建谷坊、淤地坝、小型水库等,辅助提高自然修复能力,提升封山育林的效果。

(3) 开发生态产品价值,加大治理资金投入,加强监督管理。资金投入、监督管理与水土流失治理效果存在显著相关性,加大治理资金投入,加强水土保持监督管理,是水土流失面积减少的主要驱动力。随着水土流失治理的持续深入,资金问题已成为制约青海省水土流失治理的关键,加快推进生态产品价值开发,是水土流失治理可持续发展的关键,如水土保持生态补偿、水土流失生态环境损害赔偿、水土保持生态产品(产能指标、碳汇等)^[30]。

3.5 不足与展望

本研究基于《青海省水土保持公报》和青海省土

地利用现状的归纳整理及成因分析,存在数据中断、自然因素分离、长期效应追踪等问题。同时,风力侵蚀主导的侵蚀机制与治理措施的生态效益、可持续性仍需量化评估。未来可结合高分遥感影像与县域经济数据,开展多尺度空间计量分析。建议后续研究运用地理探测器模型,量化气候变化与人类活动对侵蚀类型转化的交互作用;进一步分析1990—2004年数据,探究西部大开发政策初期水土流失波动的驱动机制。

4 结论

(1) 2004—2023年,青海省水土流失面积从 $2.04 \times 10^5 \text{ km}^2$ 下降到 $1.59 \times 10^5 \text{ km}^2$,减小了22%。

(2) 水土流失强度逐年降低,目前以轻度侵蚀为主。经过20多年的治理,水土流失面积大幅减少,但是存在治理面积增速放缓、专项治理资金不足、资金利用效率不高、审批监管效能待提升等问题。

(3) 今后青海省水土保持工作的着力点应该逐渐从全域性粗放治理转向重点区域精准治理。同时,从优化水土流失重点防治区,构建因地制宜的水土流失防治体系,根据土地利用类型的转移,针对性地开展生态系统保护,裸地治理与防控,湿地与水体维护等方面的治理工作,提升资金、政策、科技及组织的保障能力。

参考文献 (References)

- [1] Liu Qingfang, Song Jinping, Dai Teqi, et al. Spatio-temporal dynamic evolution of carbon emission intensity and the effectiveness of carbon emission reduction at county level based on nighttime light data [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022,362:132301.
- [2] 鄂德立. 生态文明建设背景下青海省水土保持重要性分析[J]. *中国标准化*, 2019(14):227-228.
E Deli. Analysis on the importance of soil and water conservation in Qinghai Province under the background of ecological civilization construction [J]. *China Standardization*, 2019(14):227-228.
- [3] Wang Shihao, Xu Xinliang, Huang Lin. Spatial and temporal variability of soil erosion in northeast China from 2000 to 2020 [J]. *Remote Sensing*, 2023,15(1):225.
- [4] 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*, 2000,20(1):9-12.
Ouyang Zhiyun, Wang Xiaoke, Miao Hong. China's eco-environmental sensitivity and its spatial heterogeneity [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2000,20(1):9-12.
- [5] 孙维营,关莹,史学建,等. 生态文明建设背景下青海省水土保持重要性分析[J]. *中国水土保持*, 2017(12):17-20.
Sun Weiyang, Guan Ying, Shi Xuejian, et al. Analysis of the significance of soil and water conservation in Qinghai Province under the context of ecological civilization construction [J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2017(12):17-20
- [6] 郑国强,张艳得,才让旦巴. 青海省水土保持可持续发展探讨[J]. *中国水土保持*, 2010(11):21-23.
Zheng Guoqiang, Zhang Yande, Cai R. Sustainable development of soil and water conservation in Qinghai Province [J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2010(11):21-23.
- [7] 樊艳翔,黄清子,梁妹,等. 基于水利建设视角的黄河流域水土流失治理效率及影响因素研究[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2025,61(3):535-544.
Fan Yanxiang, Huang Qingzi, Liang Shu, et al. Efficiency and influencing factors of soil erosion control in Yellow River basin from the perspective of water conservancy construction [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2025,61(3):535-544.
- [8] 谢红娟,杨彩虹. 基于GIS的湖南省水土保持服务功能重要性时空分布特征[J]. *水土保持通报*, 2024,44(6):248-255.
Xie Hongjuan, Yang Caihong. Spatial and temporal distribution characteristics of service function importance of soil and water conservation in Hunan Province based on GIS [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2024,44(6):248-255.
- [9] 汪亚楠,宋艳霞,万梦玥. 政策性农业保险对水土流失治理成效的影响研究[J]. *农林经济管理学报*, 2025,24(1):94-102.
Wang Yanan, Song Yanxia, Wan Mengyue. Impact of policy-supported agricultural insurance on soil erosion control achievement [J]. *Journal of Agro-Forestry Economics and Management*, 2025,24(1):94-102.
- [10] 蒲朝勇. 以体制机制政策创新为抓手推进新阶段水土保持高质量发展的思考[J]. *中国水利*, 2023(10):4-8.
Pu Chaoyong. Promoting high-quality development for soil and water conservation in the new stage through system, mechanism and policy innovation [J]. *China Water Resources*, 2023(10):4-8.
- [11] 翟宇坤,李永宏,沈海鸥,等. 吉林省水土流失与社会经济空间自相关性特征及影响因素[J]. *水土保持通报*, 2024,44(5):144-151.
Zhai Yukun, Li Yonghong, Shen Haiou, et al. Spatial autocorrelation patterns and influencing factors of soil and water loss and socio-economic development in Jilin Province [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2024,44(5):144-151.
- [12] 景立新. 水土流失面源污染对水环境的影响及应对:评《水土流失面源污染及防控技术》[J]. *人民黄河*, 2024,46(11):164.
Jing Lixin. Influence of non-point source pollution of soil erosion on water environment and countermeasures: Comment on *Soil Erosion Non-point Source Pollution and Prevention and Control Technology* [J]. *Yellow River*, 2024,46(11):164.
- [13] Qiu Liping, Zhang Qian, Zhu Hansong, et al. Erosion reduces soil microbial diversity, network complexity and multifunctionality [J]. *The ISME Journal*, 2021,15(8):2474-2489.
- [14] Luan Shenzhou. Restriction factors and improvement paths of ecological environment and water resources protection in Qinghai section of the Yellow River basin [J]. *Desalination and Water Treatment*, 2023,315:565-571.
- [15] Liu Yihua, Gao Ge, Li Hongmei, et al. Spatiotemporal variations and causes of wind/rainfall erosion climatic erosivity in Qinghai Province, China [J]. *Atmosphere*, 2022,13(10):1649.
- [16] 刘得俊,赵刚. 青海省生态清洁小流域建设现状及发展

- 思路研究[J]. 人民长江, 2025, 56(S1):8-14.
- Liu Dejun, Zhao Gang. Study on the present situation and development ideas of ecological clean small watershed construction in Qinghai Province [J]. Yangtze River, 2025, 56(S1):8-14.
- [17] Ma Xiaofan, Zhang Haifeng. Variations in the value and trade-offs/synergies of ecosystem services on topographic gradients in Qinghai Province, China [J]. Sustainability, 2022, 14(23):15546.
- [18] 李广英, 李红颖, 王凌青, 等. 青海省土地利用变化及其社会经济驱动因素分析[J]. 草业科学, 2022, 39(12):2604-2616.
- Li Guangying, Li Hongying, Wang Lingqing, et al. Analysis of land use change and its socio-economic driving factors in Qinghai Province [J]. Pratacultural Science, 2022, 39(12):2604-2616.
- [19] 姜德文. 水土保持公报的改革方向与内容趋向[J]. 中国水土保持, 2015(7):1-3.
- Jiang Dewen. The reform direction and content trend of the Soil and Water Conservation Bulletin [J]. Soil and Water Conservation in China, 2015(7):1-3.
- [20] 裴子萱, 李强, 刘婷婷, 等. 基于GlobeLand30的城市生态用地时空变化特征: 以北京市为例[J]. 生态学报, 2022, 42(24):10072-10087.
- Pei Zixuan, Li Qiang, Liu Tingting, et al. Spatial and temporal change characteristics of ecological land in Beijing based on GlobeLand30 [J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(24):10072-10087.
- [21] 周兆丁, 吕锜, 沈瑾, 等. 统计软件SPSS相关分析及应用[J]. 电脑知识与技术, 2019, 15(20):301-302.
- Zhou Zhaoding, Lv Kun, Shen jin, et al. SPSS-based correlation analysis and applications [J]. Computer Knowledge and Technology, 2019, 15(20):301-302.
- [22] 彭大力, 张斌, 吴林蓬, 等. 龙川江流域近20年土壤侵蚀时空变化及驱动因素分析[J]. 水土保持学报, 2024, 38(4):29-37.
- Peng Dali, Zhang Bin, Wu Linpeng, et al. Analysis of spatial and temporal changes and driving factors of soil erosion in Longchuan River basin in recent 20 years [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2024, 38(4):29-37.
- [23] 罗义, 陈顺, 刘伟强, 等. 河北省土地利用碳排放时空演变分析及预测研究[J]. 环境工程学报, 2024, 18(11):3360-3373.
- Luo Yi, Chen Shun, Liu Weiqiang, et al. Analysis and prediction on the spatiotemporal evolution of carbon emissions from land use in Hebei Province [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2024, 18(11):3360-3373.
- [24] 刘家莉, 朱喜钢, 吴雅. 区域发展下城市群土地利用空间冲突演化及预警研究: 以成渝城市群为例[J]. 水土保持研究, 2025, 32(4):353-364.
- Liu Jiali, Zhu Xigang, Wu Ya. Evolution and early warning of land use spatial conflicts in urban agglomerations under regional development: A case study of the Chengdu-Chongqing urban agglomeration [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2025, 32(4):353-364.
- [25] 李岩, 吴浩, 朱连奇, 等. 基于土地利用变化多情景模拟的郑州市生态系统服务退化风险识别及其启示[J]. 自然资源学报, 2025, 40(2):493-513.
- Li Yan, Wu Hao, Zhu Lianqi, et al. Identification of ecosystem service degradation risks in Zhengzhou based on multi-scenario simulation of land use changes [J]. Journal of Natural Resources, 2025, 40(2):493-513.
- [26] Li Lan, Zhao Yilu, Li Xuan, et al. Temporal dynamics of ecosystem service value in Qinghai Province (2000—2018): Trends, drivers, and implications [J]. Sustainability, 2025, 17(4):1458.
- [27] 张洋, 彭瑶, 刘竞妍, 等. 江苏省水土流失重点防治区划分[J]. 水土保持通报, 2014, 34(2):300-306.
- Zhang Yang, Peng Yao, Liu Jingyan, et al. Regionalization of key preventing and controlling areas of soil and water loss in Jiangsu Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2014, 34(2):300-306.
- [28] 袁瀛, 郝惠莉, 马宁, 等. 陕西省水土流失重点防治区的划分方法及指标体系[J]. 水土保持通报, 2017, 37(5):333-337.
- Yuan Ying, Hao Huili, Ma Ning, et al. Division method and index system of key prevention regions of soil and water loss in Shaanxi Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(5):333-337.
- [29] 王守俊. 甘肃省水土流失重点防治区复核划分研究[J]. 人民黄河, 2018, 40(3):88-92.
- Wang Shoujun. Study on rechecking the regionalization of key preventing and controlling areas of soil erosion in Gansu Province [J]. Yellow River, 2018, 40(3):88-92.
- [30] 乔殿新, 熊锐. 水土保持生态产品价值实现理论与实践研究辨析[J]. 中国水利, 2024(14):33-38.
- Qiao Dianxin, Xiong Rui. Studies on theory and practice of realizing value of ecological products for soil and water conservation [J]. China Water Resources, 2024(14):33-38.