

青藏高原水土保持功能等级评估数据集 (2001–2023) 研发与分析

丛楠^{1,2}

1. 中国科学院地理科学与资源研究所拉萨高原生态试验站, 北京 100101;
2. 四川大学山区河流保护与治理全国重点实验室, 成都 610065

摘要: 青藏高原具有高、寒、旱的气候特征, 近年来对藏区密集的基础设施开发, 给当地脆弱敏感的生态环境带来巨大挑战。本研究利用 MODIS NPP 数据和中国土壤数据库格网数据, 依据《生态保护红线划定技术指南》, 利用定量指标法, 进行了高原水土保持能力指数计算, 并评估了青藏高原水土保持功能并分级, 生成本世纪青藏高原水土保持功能等级评估数据集(2001–2023)。数据集包括两组数据:(1) 青藏高原水土保持能力指数数据, 反映高原水土保持能力的空间分布;(2) 青藏高原水土保持功能等级评估数据, 反映水土保持功能在空间上的重要程度, 提取水土保持工作的重点区域。该数据集的存储格式为.tif, 包含 46 景数据, 总数据量为 568 MB (压缩为 1 个文件, 180 MB)。

关键词: 水土保持; 青藏高原; 能力指数; 功能评估

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2024.01.10>

CSTR: <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2024.01.10>

数据可用性声明:

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志(中英文)》出版, 可获取:

<https://doi.org/10.3974/geodb.2024.06.02.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2024.06.02.V1>.

1 前言

青藏高原地区是近几年基础设施密集开展区域, 这些大型工程一方面直接对工程周边的植被产生破坏和干扰, 另一方面通过多种途径干扰生态环境, 影响土壤水平衡、土壤肥力等, 从而阻碍植被的生长和影响群落动态, 对生态系统稳定性和功能的发挥以及工程稳定性造成威胁。此外, 青藏高原地区气候条件恶劣, 生态系统十分脆弱, 一旦遭到破坏就很难恢复^[1]; 而随着全球气候变化加剧, 青藏高原地区生态与环境受到的压力比其他地

收稿日期: 2023-11-14; 修订日期: 2024-02-25; 出版日期: 2024-03-25

基金项目: 国家自然科学基金(42071133); 中国科学院(西部青年学者基金 2022); 四川大学山区河流保护与治理全国重点实验室开放基金

作者信息: 丛楠, 中国科学院地理科学与资源研究所, congnan@igsrr.ac.cn

数据引用方式: [1] 丛楠. 青藏高原水土保持功能等级评估数据集(2001–2023)研发与分析[J]. 全球变化数据学报, 2024, 8(1): 82–89. <https://doi.org/10.3974/geodp.2024.01.10>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2024.01.10>.

[2] 丛楠, 郑周涛, 王东亮. 青藏高原水土保持功能等级评估数据集(2000–2023) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2024. <https://doi.org/10.3974/geodb.2024.06.02.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2024.06.02.V1>.

区更加显著，工程的介入更容易导致生态平衡的破坏，关注该区域工程建设的生态环境效应就显得更为必要，然而相关研究还十分缺乏。

本世纪国家逐步加大对中西部地区基础设施的建设投资，工程建设相继开展，这些大型工程直接对工程周边的植被产生破坏和干扰，从而阻碍植被的生长和影响群落动态，对生态系统稳定性和功能的发挥以及工程稳定性造成威胁^[2]。青藏高原具有高、寒、旱的气候特征，植被生长与土壤水分密切相关^[3]。水土保持作为生态系统服务功能的一个主要评价因子，在比较干旱且风力较大的青藏高原成为对生态环境评价的一个重要指标。本文利用《生态保护红线划定技术指南》^[4]，采用定量指标法基于 NPP 数据产品评估青藏高原水土保持生态服务功能，生成青藏高原水土保持功能等级评估数据集。

2 数据集元数据简介

《青藏高原水土保持功能等级评估数据集（2001–2023）》^[5]的名称、作者、地理区域、数据年代、时间分辨率、空间分辨率、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

表 1 《青藏高原水土保持功能等级评估数据集（2001–2023）》元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	青藏高原水土保持功能等级评估数据集(2001–2023)
数据集短名	Water&SoilConserv_TP2001-2023
作者信息	丛楠, 中国科学院地理科学与资源研究所拉萨高原生态试验站, congnan@igsnr.ac.cn 郑周涛, 中国科学院地理科学与资源研究所拉萨高原生态试验站, zhengzt@igsnr.ac.cn 王东亮, 中国科学院地理科学与资源研究所, 中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室, wangdl@igsnr.ac.cn
地理区域	青藏高原
数据年代	2001–2023 年
时间分辨率	1 年
空间分辨率	1 km
数据格式	.tif
数据量	568 MB
数据集组成	.tif 包含 2 组数据, 水土保持能力指数和水土保持功能等级评估数据, 每组 23 景数据
基金项目	中国科学院（西部青年学者基金, 2022）; 国家自然科学基金（42071133）
数据计算环境	Matlab、ArcGIS
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101, 中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放, 用户免费浏览、免费下载;（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源;（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报（中英文）》编辑部签署书面协议, 获得许可;（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10%引用原则, 即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%, 同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[6]
数据和论文检索系统	DOI, CSTR, Crossref, DCI, CSCD, CNKI, SciEngine, WDS/ISC, GEOSS

3 数据研发方法

水土保持是生态系统通过自身的结构和过程，减少水蚀引起的土壤侵蚀，是调节生态系统的重要功能之一。高寒生态脆弱区水土保持功能主要受到该区域的土壤、地形以及植被等的影响，一般以水土保持能力指数作为该地区生态环境水土保持功能等级的评价指标。计算水土保持能力指数需要输入 NPP 参数、土壤可蚀性因子和地形坡度指数等 3 个参数，分别采用 MODIS NPP 数据集¹、中国 1：100 万土壤数据库²、DEM 数据集³。水土保持能力指数利用定量指标法计算得到^[7,8]。

3.1 算法原理

以生态环境水土保持能力指数 S_{pro} 作为评价指标，计算公式为：

$$S_{pro} = NPP \times (1 - K) \times (1 - F_{slo}) \tag{1}$$

式中， S_{pro} 表示生态系统水土保持服务能力指数，NPP 表示植被净初级生产力年值， F_{slo} 表示地形起伏度指数， K 表示土壤可蚀性因子。其中，MODIS NPP 原始数据单位为 $kg\ C/m^2$ ，本研究将 NPP 单位转化为 $g\ C/m^2$ 。同时，水土保持服务能力指数 S_{pro} 遵循 NPP 单位 $g\ C/m^2$ 。

3.2 技术路线

水土保持功能等级评估基于公式(1)的核心算法开展，并通过水土保持服务能力指数评估水土保持功能等级。生成水土保持服务能力指数的输入参数主要为 NPP 和土壤可蚀性因子和地形坡度指数 3 个参数。土壤可蚀性因子 K ，指土壤颗粒被水力分离和搬运的难易程度，主要与土壤质地、土体结构、有机质含量、渗透性等土壤理化性质有关；地形坡度指数则反映局地地势起伏程度，会间接影响局地水土流失。计算方法在数据预处理中做详细介绍。

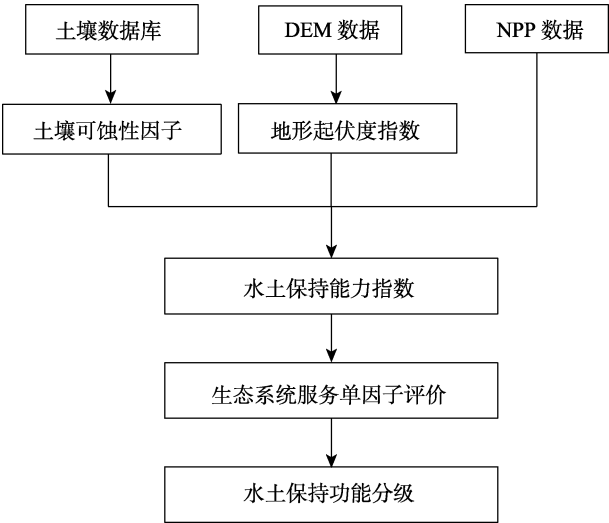


图 1 青藏高原水土保持功能等级评估数据集研发技术路线图

¹ MODIS NPP 数据集. 美国国家宇航局网站. <https://ladsweb.Nascom.nasa.gov>.

² 中国 1：100 万土壤数据库. 寒区旱区科学数据中心. <http://westdc.westgis.ac.cn>.

³ DEM 数据集. 地理空间数据云网站. <http://www.gscloud.cn/>.

3.2.1 数据准备

依据《生态保护红线划定技术指南》^[4]，水土保持功能等级评价所需数据包括 NPP 数据、土壤数据和 DEM 数据。NPP 数据来自 MODIS NPP 数据集，空间分辨率 500 m；土壤数据来自中国 1：100 万土壤数据库，空间分辨率为 1 km；DEM 数据来自地理空间数据云网站，空间分辨率为 90 m。本研究将涉及的栅格数据统一为 WGS84 坐标系，空间分辨率为 1/120°（约 1 km）。

3.2.2 数据预处理

从技术路线图可见（图 1），水土保持能力指数计算需通过 NPP、土壤可蚀性因子和地形坡度指数 3 个参数获得，而前期需要将土壤数据计算成土壤可蚀性因子 K 和地形起伏度指数 F_{slo} ，作为备用输入参数，计算公式如下：

$$K = -0.01383 + 0.51575 K_{EPIC} \times 0.1317 \quad (2)$$

$$K_{EPIC} = \left\{ 0.2 + 0.3 \exp \left[-0.0256 m_s \left(1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right\} \times \left[\frac{m_{silt}}{(m_c + m_{silt})} \right]^{0.3} \times \left\{ 1 - \frac{0.25 orgC}{[orgC + \exp(3.72 - 2.95 orgC)]} \right\} \times \left\{ 1 - \frac{0.7 \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left\{ \left(1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp \left[-5.51 + 22.9 \left(1 - \frac{m_s}{100} \right) \right] \right\}} \right\} \quad (3)$$

式中， K_{EPIC} 表示修正前的土壤可蚀性因子， K 表示修正后的土壤可蚀性因子， m_c 、 m_{silt} 、 m_s 和 $orgC$ 分别为粘粒（<0.002 mm）、粉粒（0.002 mm–0.05 mm）、砂粒（0.05 mm–2 mm）和有机碳的百分比含量（%），数据来源于中国 1：100 万土壤数据库。利用上述公式计算 K 值，ArcGIS 中以土壤类型图作为工作底图，将 K 值连接（Join）到底图上。使用 ArcGIS 中 Conversion Tools 工具条中的 To Raster 工具，将其转为土壤可蚀性栅格图，以求与 NPP 栅格数据匹配。

本研究以 3×3 像元的 DEM 最大值和最小值之差来表示该邻域中心像元的地形起伏度 F_{slo} 。随后，采用最大最小值方法将青藏高原的土壤可蚀性因子 K 和地形起伏度 F_{slo} 归一化到 0–1 之间，并根据公式(1)计算得到青藏高原生态系统的水土保持服务能力指数 S_{pro} 。最后，将多年平均的水土保持服务能力指数按由高到低排序，按从高到底顺序计算累加的服务值和累计比例，以累计比例的 50% 和 80% 对应的水土保持服务能力指数 S_{pro} 为阈值，作为极重要、重要和一般重要 3 个级别的分界点。

4 数据结果与验证

4.1 数据集组成

数据成果为 .tif 格式，数据自带经纬度坐标，坐标系统采用 WGS84，数据范围 26°N–40°N，73°E–105°E 的青藏高原区域。数据成果包括 2 个数据文件，（1）为水土保持

功能等级评估数据集, (2) 为得到等级评估的重要过程数据——水土保持能力指数数据集。两组数据集都包括 2001–2023 年的逐年格网数据。其中, 水土保持能力指数反应青藏高原水土保持能力的空间分布 (图 2), 而水土保持功能等级评估反应水土保持功能在空间上的重要程度, 可以用来提取水土保持工作的重点区域。

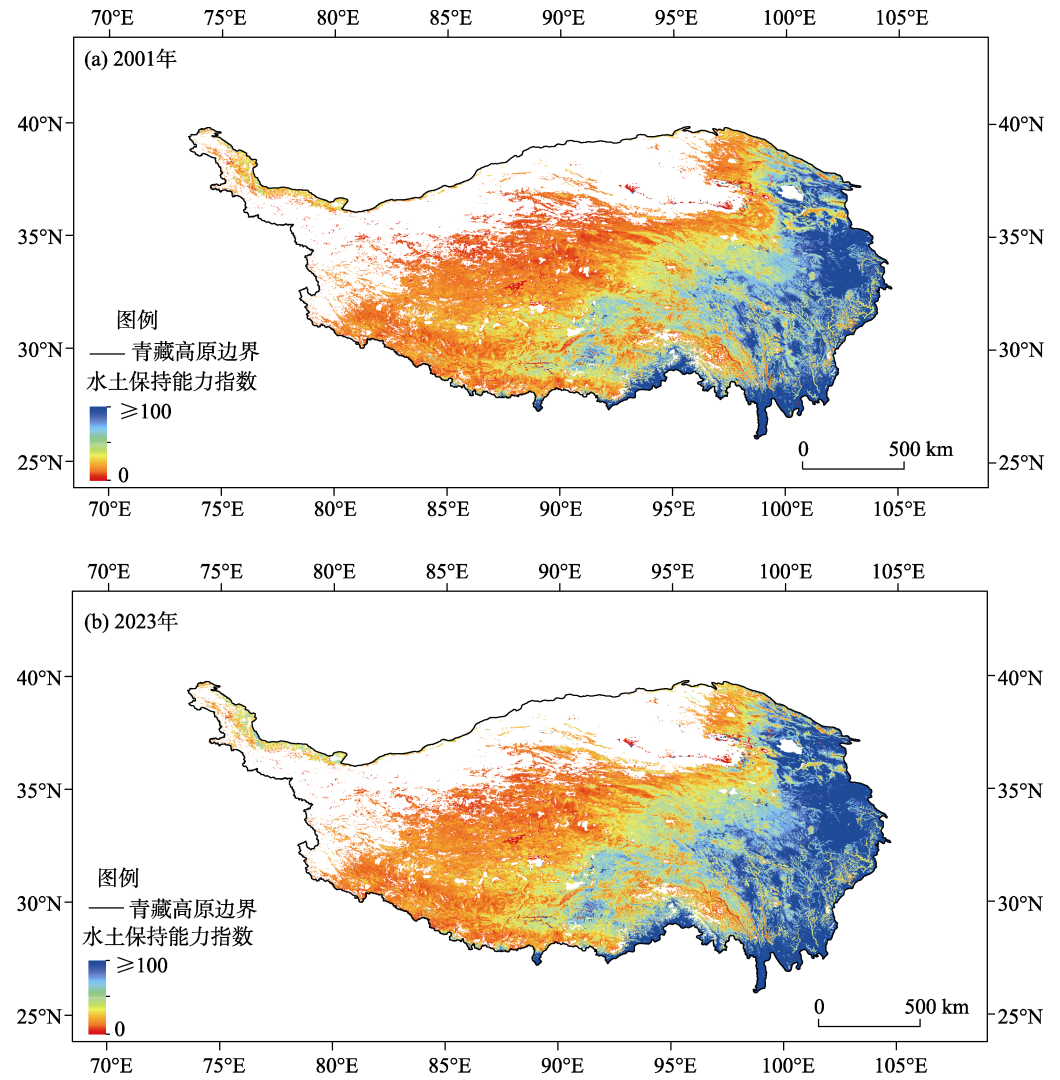


图 2 青藏高原水土保持能力指数空间分布图 (2001, 2023)

4.2 数据结果

根据水土保持能力指数数值大小, 将水土保持功能等级分为一般重要、重要、极重要 3 个等级 (图 3)。水土保持功能等级自西向东等级逐渐加强, 青藏高原东部地区水土保持功能为极重要区域, 该区域地形复杂, 降水相对丰沛, 山体滑坡等地质灾害频发, 导致高原东部地区生态系统水土保持压力增大。进一步分析, 近 23 年来水土保持功能等级未发生变化的区域如图 4 所示。水土保持功能在区域上存在较大的稳定性, 超过 80% 的像元在空

间上没有功能等级变迁。高原东北部和东南部地区多年来持续处于水土保持功能极重要区域，说明这一区域需引起高度关注，在工程选址过程需注意提前规划地表土壤和地下水水土保持；而在工程建设中，注重区域开发过程的当地生态系统水土保持功能的保护，减小对地表的破坏。

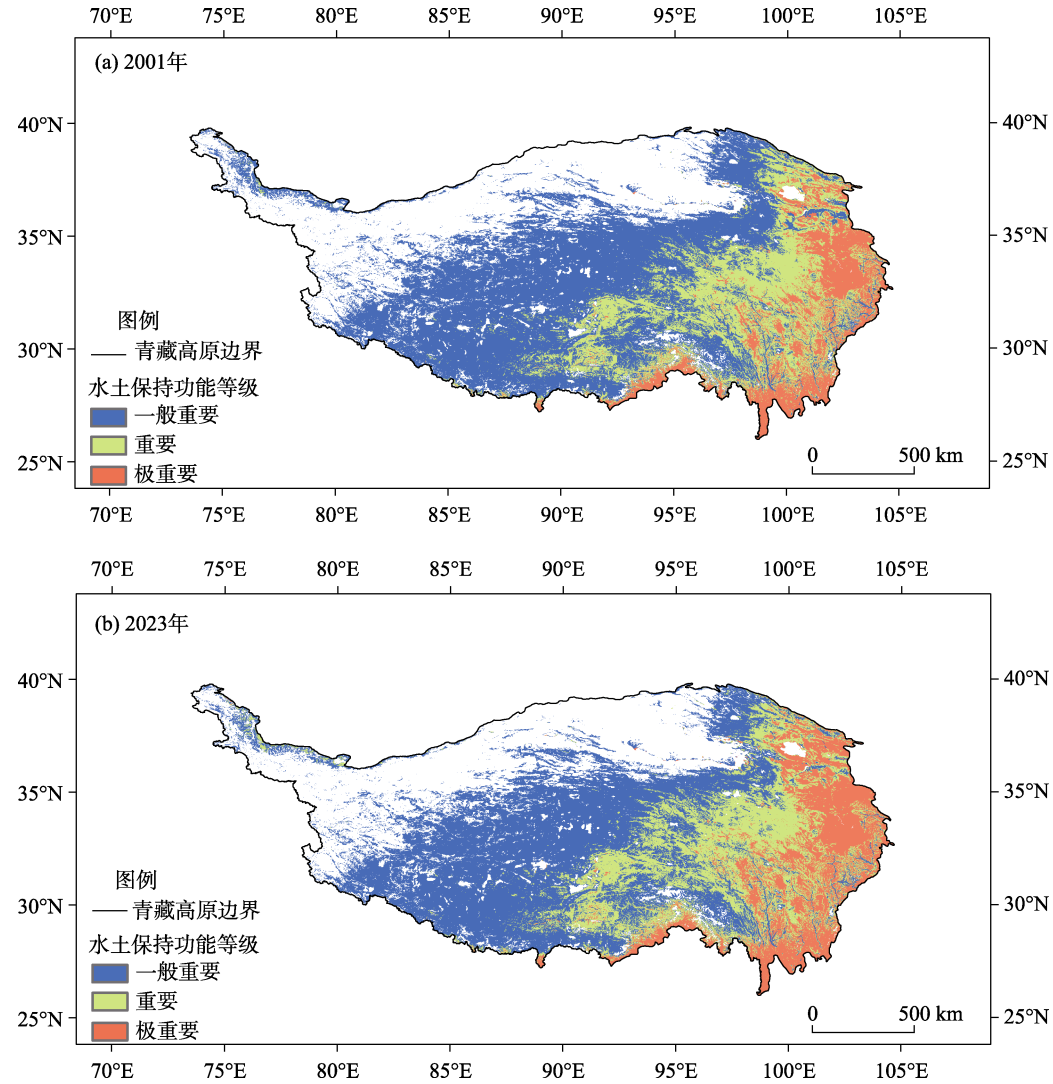


图 3 青藏高原水土保持功能等级评估空间分布图（2001, 2023）

4.3 数据结果验证

水土保持功能计算依据《生态保护红线划定技术指南》^[4]，采用定量指标法进行参数计算，计算结果与青藏高原水分分布梯度存在相关性，符合自然空间分布特征。计算采用的基础数据集为 MODIS NPP、中国 1 : 100 万土壤数据库能够客观反映青藏高原背景值，为本次水土保持功能计算提供良好的数据保障。相对于以往研究，我们的研究结果证实并延续了早期初步评估结果^[7]，青藏高原本世纪水土保持功能仍然呈现为高原东南部地区

为极重要区域，由于较低的水土保持能力，可能是由于该地区气候相对温和，植被不需要像高原西部干旱地区表现出强大的适应和生存能力，因此，该区域对水土保持功能需要高度重视，为极重要功能区，以防止近年来高原频发的极端天气时间对植被生态系统造成重大破坏。

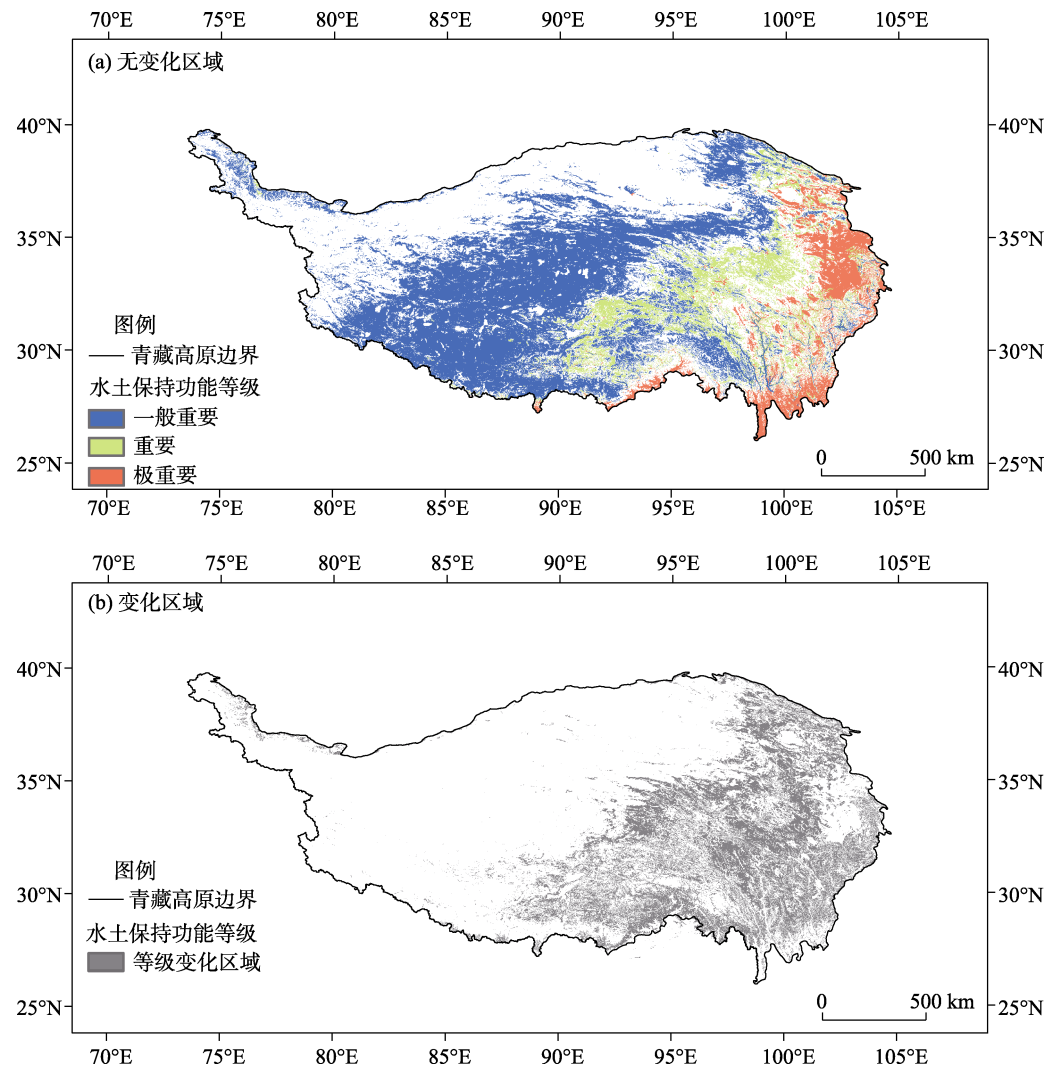


图 4 2001–2023 年间青藏高原水土保持功能等级无变化区域 (a) 和变化区域 (b) 分布图

5 讨论和总结

本研究基于 MODIS NPP 数据、全国 1 : 100 万土壤数据库和 DEM 数据，利用定量指标法构建模型，通过计算青藏高原本世纪以来生态环境水土保持能力指数，进行水土保持功能等级评估，获得青藏高原水土保持功能等级评估数据集。数据计算遵循国家《生态保护红线划定技术指南》的专业技术流程，通过定量指标法进行参数计算，结果空间分布特征与水分梯度相关，符合自然空间分布特征。本数据产品的计算结果验证了以往的研究结

果,并随着数据年份的持续,进一步延长了产品的覆盖时间段。但由于研究基于卫星数据产品,卫星数据本身由于传感器对地观测过程中受到云雨、冰雪等噪音影响,NPP 年际之间产品稳定性存在较小的差异,进而造成等级评估结果的局限性,但整体来说此类不确定性很低,不影响大尺度上对青藏高原生态系统服务的评估结果。

结果发现青藏高原近年来水土保持功能超过 80%的区域等级没有发生等级变迁,呈现由西向东重要等级增加的空间特征。极重要区域面积增加,说明高原近年来重视生态环境保护,水土保持能力不断增强。本研究结果对以前针对青藏高原水土保持功能加以验证和证实,同时延长了研究时限,有利于政府部门及时掌握当地生态系统功能的动态变化^[9]。同时空间格局也可以在当前不断开展的高原工程中提出合理有效的施工政策。为提高生态建设效率、工程选址、降低开发建设扰动、生态环境恢复和维护等具有指导价值,提出空间性策略建议^[10–12]。

利益冲突声明: 本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献

- [1] 孔维栋. 极地陆域微生物多样性研究进展[J]. 生物多样性, 2013, 21(4): 456–467.
- [2] 曾业隆, 周全, 江栗等. 基于遥感与 GIS 的青藏高原典型电网工程生态环境敏感性分析[J]. 中国环境科学, 2017, 37(8): 3096–3106.
- [3] 李英年, 赵新全, 赵亮等. 祁连山海拔高寒湿地气候变化及植被演替分析[J]. 冰川冻土, 2003, 25(3): 243–249.
- [4] 环境保护部. 生态保护红线划定指南[S]. 2015.
- [5] 丛楠, 郑周涛, 王东亮. 青藏高原水土保持功能等级评估数据集(2001–2023)[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2024. <https://doi.org/10.3974/geodb.2024.06.02.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2024.06.02.V1>.
- [6] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. <https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05> (2017 年更新).
- [7] 蔡德峰, 张扬建, 丛楠等. 藏中联网工程生态系统服务功能重要性评价[J]. 生态学杂志, 2021, 40(2): 593–603.
- [8] 胡秋红, 丛楠, 殷国栋. 典型生态屏障区生态安全格局构建——以承德市为例[J]. 生态学杂志, 2021, 40(9): 2914–2926.
- [9] 于格, 鲁春霞, 谢高地等. 基于 RS 和 GIS 的青藏高原草地生态系统土壤水分保持功能及其经济价值评估——以生长季为例[J]. 山地学报, 2006, 24(4), 498–503.
- [10] Langemeyer, J., Gómez-Baggethun, E., Haase, D., *et al.* Bridging the gap between ecosystem service assessments and land-use planning through Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) [J]. *Environmental Science & Policy*, 2016, 62: 45–56.
- [11] DeFries, R S., Karanth, K. K., Pareeth, S. Interactions between protected areas and their surroundings in human-dominated tropical landscapes [J]. *Biological Conservation*, 2010, 143(12): 2870–2880.
- [12] 胡玉雪, 周旭, 袁稳玲等. 贵阳市景观格局对生态系统服务价值的影响[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2022, 40(1): 34–43.