

中国西北干旱半干旱区草地生产力和退化程度数据集 (2001–2023) 开发与分析

蔡迪文, 张颖倩, 罗文慧, 梁嘉宏, 艾泽颖, 董兆吉, 尚志海*

岭南师范学院地理科学学院, 湛江 524048

摘要: 鉴于中国西北干旱半干旱地区草地退化对生态安全和粮食安全构成的潜在威胁, 客观量化与评估草地退化程度对于草地资源的保护与可持续利用具有重要意义。作者基于遥感与气候数据, 建立了一种以气候生产潜力为自然基准的草地退化客观评估方法, 得到中国西北干旱半干旱区草地生产力自然基准值 500 m 栅格数据集 (2001–2023), 并据此研发了 2001–2023 年间该区域草地退化程度、每 5 年草地退化程度分类数据集。三个数据集空间分辨率均为 500 m。通过引入客观的自然基准, 数据集的研发有效解决了当前草地退化评估中基准不一致、结果难以比较等关键问题。数据集以.tif、.xlsx 和.txt 格式存储, 由 160 个数据文件组成, 数据量为 549.3 MB (压缩为 3 个文件, 249.9 MB)。

关键词: 草地退化; 气候生产潜力; 自然基准; 西北干旱半干旱区

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2026.04.11>

CSTR: <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2026.04.11>

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.2025.11.03.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.11.03.V1>.

<https://doi.org/10.3974/geodb.2025.11.04.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.11.04.V1>.

<https://doi.org/10.3974/geodb.2025.11.05.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.11.05.V1>.

1 前言

中国西北干旱半干旱地区分布着广袤的草地资源, 这些草地不仅是中国重要的畜牧业基地, 也为当地各族人民提供了重要生产资料, 其健康状态深刻影响着区域可持续发展与

收稿日期: 2025-11-07; 修订日期: 2026-07-11; 出版日期: 2026-08-25

基金项目: 国家自然科学基金 (42301003); 岭南师范学院 (ZL22032)

*通讯作者: 尚志海, 岭南师范学院地理科学学院, shangzhihai@126.com

数据引用方式: [1] 蔡迪文, 张颖倩, 罗文慧等. 中国西北干旱半干旱区草地生产力和退化程度数据集 (2001–2023) 开发与分析[J]. 全球变化数据学报, 2026, 10(4): 485–494. <https://doi.org/10.3974/geodp.2026.04.11>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2026.04.11>.
[2] 蔡迪文, 张颖倩, 罗文慧等. 中国西北干旱半干旱区草地生产力自然基准值 500-m 栅格数据集 (2001–2023) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2025. <https://doi.org/10.3974/geodb.2025.11.03.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.11.03.V1>.
[3] 蔡迪文, 张颖倩, 罗文慧等. 中国西北干旱半干旱区逐年草地退化程度 500-m 栅格数据集 (2001–2023) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2025. <https://doi.org/10.3974/geodb.2025.11.04.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.11.04.V1>.
[4] 蔡迪文, 张颖倩, 罗文慧等. 中国西北干旱半干旱区每 5 年草地退化程度分类 500-m 栅格数据集 [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2025. <https://doi.org/10.3974/geodb.2025.11.05.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.11.05.V1>.

生态安全,具有重要的生态效益与经济价值。过去 20 余年国家实施了退耕还林还草、退牧还草、草原生态保护补助奖励等系列生态建设项目,初步遏制了草地生态持续恶化的状况^[1]。但在气候变化的背景下,随着基础设施建设和农业用地面积扩张、超载放牧和不合理利用地下水资源等,加之草地生态系统整体脆弱的本底,区内草地仍面临严峻的退化压力^[2,3]。因此,为了从整体上评估草地退化和保护现状,有必要加强草地健康及草地退化等相关评价体系的构建研究。现有草地退化研究所用的评估指标不统一、比较基准不同以及研究尺度存在差异,导致草地退化程度的量化结果难以横向对比^[4-6]。因此,确定客观统一的比较基准对于草地退化评估具有重要实践意义,对于从整体上制定草地资源保护和可持续利用方案也至关重要。

当前草地退化程度量化研究中多采用自然、历史和目标 3 种比较基准^[3,7-10]。目标基准受主观因素影响较大,例如针对围栏封育区或自然保护区设立的特定标准,其适用性通常局限于局部范围,难以实现跨区域比较;历史基准虽然相对客观,但在选择参照年份时存在一定随意性,且结果易受环境波动的影响;自然基准具备一定理论基础,统计方法比较严谨,能够有效剥离人为活动的干扰,因而具备较高的客观性。气候生产潜力(Climatic Production Potential, CPP)指在无人为干扰情况下,由光照、温度、水分和养分等环境因子共同决定的植被最大净初级生产力(Net Primary Productivity, NPP)^[11,12],其与气候变化动态耦合且与被评价区域空间一致,该基准兼具动态自适应特征和客观性,因而一段时期内的最大 CPP 可作为理想的自然基准使用^[4,6]。

为量化西北干旱半干旱区草地退化程度,本研究整合了区域遥感与气候数据,综合运用 Miami 模型^[13]、Thorntwaite Memorial 模型^[11]和综合模型^[14]等经典的气候生产潜力经验估算方法,构建了以 CPP 为自然基准的草地退化程度数据集,以期克服当前草地退化评价中比较基准不一致、评价结果难以横向对比等关键问题,从而为区域草地退化评估及草地资源的可持续管理提供可靠的数据支撑。

2 数据集元数据简介

中国西北干旱半干旱区草地生产力自然基准值 500-m 栅格数据集(2001–2023)^[15]、中国西北干旱半干旱区逐年草地退化程度 500-m 栅格数据集(2001–2023)^[16]、中国西北干旱半干旱区每 5 年草地退化程度分类 500-m 栅格数据集^[17]的名称、作者、地理区域、数据年代、时空分辨率、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。

3 数据研发方法

3.1 数据来源

研发本数据集需要遥感、气候和基础地理 3 大类数据。

遥感数据集使用 MODIS(中尺度成像光谱仪)数据源¹,包括 2001–2023 年间的净初级生产力(NPP)数据集(MOD17A3HGF V6.1)和土地覆盖数据集(MCD12Q1),空间分辨率为 500 m。MOD17A3HGF 数据提供基于 8 天净光合作用生产力的年总和数据,是通过

¹ NASA. <https://www.earthdata.nasa.gov>.

表 1 中国西北干旱半干旱区草地生产力和退化程度数据集元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	中国西北干旱半干旱区草地生产力自然基准值 500-m 栅格数据集（2001–2023）
数据集短名	NW_CPPmax
作者信息	蔡迪文，岭南师范学院，caidw@lingnan.edu.cn 张颖倩，岭南师范学院，1135862445@qq.com 罗文慧，岭南师范学院，798138577@qq.com 梁嘉宏，岭南师范学院，liang.jiahong@foxmail.com 艾泽颖，岭南师范学院，3252154181@qq.com 董兆吉，岭南师范学院，dzj3266851472@163.com 尚志海，岭南师范学院，shangzhihai@126.com
地理区域	中国西北干旱半干旱区
数据年代	2001–2023
空间分辨率	500 m
数据格式	.tif、.txt
数据量	16.4 MB（压缩后）
数据集组成	2001–2023 年西北干旱半干旱区草地生产潜力的最大值
数据集名称	中国西北干旱半干旱区逐年草地退化程度 500-m 栅格数据集（2001–2023）
数据集短名	NW_GDI
作者信息	蔡迪文，岭南师范学院，caidw@lingnan.edu.cn 张颖倩，岭南师范学院，1135862445@qq.com 罗文慧，岭南师范学院，798138577@qq.com 梁嘉宏，岭南师范学院，liang.jiahong@foxmail.com 艾泽颖，岭南师范学院，3252154181@qq.com 董兆吉，岭南师范学院，dzj3266851472@163.com 尚志海，岭南师范学院，shangzhihai@126.com
地理区域	中国西北干旱半干旱区
数据年代	2001–2023
时间分辨率	年
空间分辨率	500 m
数据格式	.tif、.xlsx
数据量	228 MB（压缩后）
数据集组成	2001–2023 年间每年草地退化程度空间分布数据；区域平均的草地退化指数年际变化数据
数据集名称	中国西北干旱半干旱区每 5 年草地退化程度分类 500-m 栅格数据集
数据集短名	NW_Recls_GDI
作者信息	蔡迪文，岭南师范学院，caidw@lingnan.edu.cn 张颖倩，岭南师范学院，1135862445@qq.com 罗文慧，岭南师范学院，798138577@qq.com 梁嘉宏，岭南师范学院，liang.jiahong@foxmail.com 艾泽颖，岭南师范学院，3252154181@qq.com 董兆吉，岭南师范学院，dzj3266851472@163.com 尚志海，岭南师范学院，shangzhihai@126.com

续表 1

条 目	描 述
地理区域	中国西北干旱半干旱区
数据年代	2001–2023
时间分辨率	5 年
空间分辨率	500 m
数据格式	.tif、.txt
数据量	5.55 MB（压缩后）
数据集组成	全时段（2001–2023）分类结果和每 5 年（2001–2005、2006–2010、2011–2015、2016–2020 和 2021–2023）草地退化指数均值分类结果
基金项目	国家自然科学基金（42301003）；岭南师范学院（ZL22032）
数据计算环境	Python 3.12, ArcGIS 10.8
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 ^[18]
数据和论文检索系统	DOI, CSTR, Crossref, DCI, CSCD, CNKI, SciEngine, WDS, GEOSS, PubScholar, CKRSC, OARL

光能利用率和光合有效辐射计算而来。MCD12Q1 数据集提供了 5 种土地覆盖/利用分类体系，本研究采用其中的马里兰大学（University of Maryland, UMD）土地覆盖分类方案对草地类型进行识别，该方案与 MOD17A3 反演 NPP 数据时所采用的分类体系一致^[19]。UMD 分类共包括 16 种覆盖类型，为避免土地覆盖变化对草地退化分析的干扰，从而保证不同时期研究结果可比性，本研究仅选取在整个研究时段内稳定（即未发生土地覆盖类型变化）的草地像元进行后续分析。

气候数据集使用了中国 1-km 分辨率的逐月降水量数据集^[20]及平均气温数据集^[21]，该数据集覆盖时段为 1901–2024 年，是应用 Delta 降尺度算法融合了英国国家大气科学中心气候研究小组（Climatic Research Unit, CRU）发布的全球 0.5° 气候数据集以及 WorldClim 发布的全球高分辨气候数据集所生成，并利用国内 496 个气象站的观测数据进行了系统验证，结果可信^[22]。太阳辐射数据则来自欧洲中期天气预报中心（European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF）开发的 ERA5-land 数据集^[23]，包括 1979 年至今的逐小时地面气象数据，空间分辨率为 0.1°。作者截取数据集 2001–2023 年间的数据用于本数据集研发，并使用双线性插值技术将气候数据的空间分辨率统一至 MODIS 数据集网格。

此外，西北干旱半干旱区界线采用赵松乔的区划结果^[24]，将扫描的自然地理分区图应用 ArcGIS 软件进行严格配准并矢量化。研究区行政边界数据下载自自然资源部国家基础地

理信息中心²，数据格式为 GeoJSON，经投影工具严格转换为 Shapefile 格式供分析使用，转换过程中边界未经人为修改。最后将行政边界与自然地理分区界线进行空间叠加得到研究区范围。

3.2 研究方法

3.2.1 气候生产潜力估算

本数据集研发过程中需要使用 Miami、Thornthwaite Memorial 和综合模型估算气候生产潜力 (CPP)。Miami 模型是基于气温和降水对 CPP 进行估算，该模型建立之初应用了全球的观测数据，因而在较大尺度乃至全球尺度气候生产潜力研究中应用广泛^[13]。而 Thornthwaite Memorial 模型在考虑气温和降水的基础上，进一步使用植被蒸散量来估算 CPP，综合了光温、水、热等因子对植被生产力的影响^[11]。综合模型则考虑与植被光合作用密切关联的实际蒸散，综合了气温、降水、太阳辐射等气候因子的相互作用，并且增加了来自干旱半干旱地区草地以及荒漠等植被样本，对于干旱地区 CPP 的模拟效果更好^[14]。这些模型的计算结果均为干物质的量 (Dry Matter, DM)，为确保结果与 MODIS 数据集量纲一致，采用干物质含碳量进行转换。此外，根据 Liebig 最小因子定律，取 3 个模型估算结果的最小值作为最终的草地 CPP 值，如式 1 所示：

$$CPP = \min(Y_t, Y_p, Y_e, Y_r) \times C_f \quad (1)$$

式中，CPP 表示气候生产潜力 ($\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)； $\min(\cdot)$ 表示取最小值； Y_t 和 Y_p 分别为 Miami 模型根据年均温和年降水量估算的气候生产力 ($\text{gDM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)； Y_e 为 Thornthwaite Memorial 模型估算的气候生产力 ($\text{gDM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)； Y_r 为综合模型估算的气候生产力 ($\text{gDM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)； C_f 表示干物质含碳量 ($\text{gC} \cdot \text{gDM}^{-1}$)，中国典型草原植被叶片碳含量为 0.402,0^[25]。估算模型详细参数可参考相关文献^[4,11–14,25]。

3.2.2 草地退化程度量化方法

参照《天然草地退化、沙化、盐渍化的分级指标》(GB 19377—2003)^[26]的规定，按产草量损失率确定草地退化等级，产草量损失率根据实际 NPP 与自然基准值之间的差异进行量化，产草量损失率越大，草地退化程度越高。计算式为：

$$GDI_i = \left(1 - \frac{NPP_i - NPP_{\min}}{CPP_{\max} - NPP_{\min}} \right) \times 100\% \xrightarrow{NPP_{\min} \rightarrow 0} GDI_i = \left(1 - \frac{NPP_i}{CPP_{\max}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

$$CPP_{\max} = \max(CPP_i) \quad i=1, 2, \dots, n \quad (3)$$

式中， GDI_i 为第 i 年的草地退化程度值 (%)，取值 [0%, 100%]，其值越高表示草地退化程度越严重； NPP_i 为第 i 年区域实际 NPP 值 ($\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)； $CPP_{\max}$ 是区域最大 CPP 值 ($\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)，即自然基准，为计算时段内 (n 年) 各年 CPP 值的最大值，由式 3 算得； $NPP_{\min}$ 是与气候带相适应的退化终极 NPP 值 ($\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)，即终极基准，在干旱半干旱区草地可能退化到完全丧失生产能力，因而 $NPP_{\min}$ 可假定为 0。因此，基于式 2 结果和国标规定，根据 GDI 值区间范围确定草地退化程度：[0%, 10%) 为未退化，[10%, 20%) 为轻度退化，[20%, 50%) 为中度退化，[50%, 100%] 为重度退化。

综上，本数据集的研发过程如图 1 所示。

² 自然资源部国家基础地理信息中心. <https://www.tianditu.gov.cn/>.

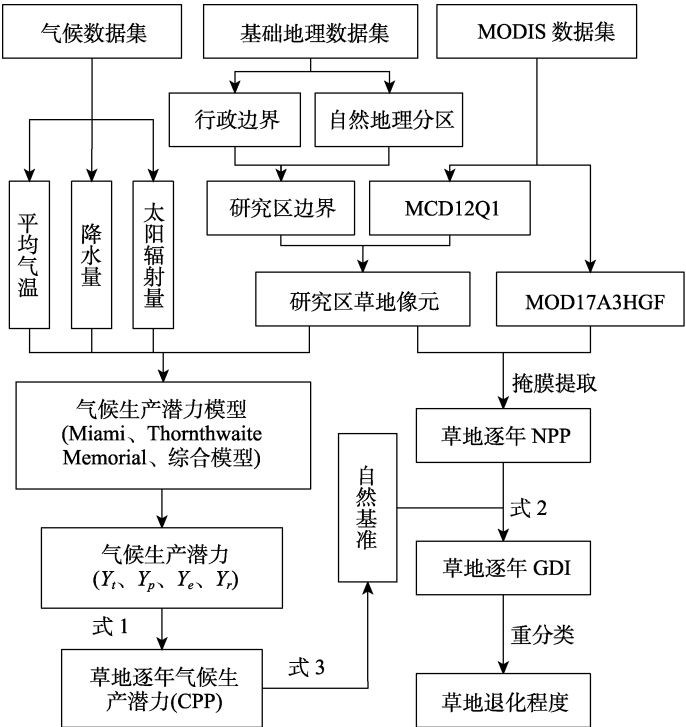


图 1 数据研发技术路线图

4 数据结果与验证

4.1 数据集组成

本研究相关数据集包含 3 个，分别为中国西北干旱半干旱区草地生产力自然基准值 500-m 栅格数据集（2001–2023）、2001–2023 逐年草地退化程度 500-m 栅格数据集以及每 5 年草地退化程度分类 500-m 栅格数据集。分类数据集是多年平均 GDI 值的分类结果，分类依据 GB 19377—2003 中有关产草量损失率的规定对草地退化程度进行划分^[26]。数据集空间分辨率均为 500 m。

4.2 数据结果分析

4.2.1 草地自然基准值空间分布

从空间分布上看（图 2），2001–2023 年间中国西北干旱半干旱地区草地生产力自然基准值空间分异明显，呈现东西两侧高、中间低的基本格局，且具有明显的经度地带性。区域草地生产力自然基准值介于 0–363.5 gC·m⁻²·a⁻¹，高值区（>200 gC·m⁻²·a⁻¹）出现在研究区东部地区，即呼伦贝尔市东北部、兴安盟和赤峰市中部以及锡林郭勒盟南部地区一带，呈现东北-西南的带状分布；此外，北疆的克拉玛依和塔城地区西部山地草原一线自然基准值也较高。而低值区（<50 gC·m⁻²·a⁻¹）出现在塔里木盆地南部边缘地区，分布较为离散。草地生产力自然基准的这种分布格局主要受制于水分分布状况，东西两侧分别受夏季风降水和西风降水影响而水分状况相对较好，水分自东西两侧向中部递减，因而草地生产力也

呈现相应递变规律。

4.2.2 草地退化时空分布特征

从草体退化空间分布和统计结果来看（图 3a，表 2），2001–2023 年间区域未退化草地面积占优（54.4%），主要分布在东部的呼伦贝尔高原、锡林郭勒高原以及西部新疆境内的山地草原一带；退化草地面积为 37.3 万 km²，占草地总面积的 45.6%，其中中度退化草地面积占比最高，为 28.7%，主要分布在科尔沁沙地周边、鄂尔多斯高原至乌兰察布高原一带；重度退化草地面积较少，仅占 5.8%，集中分布在西部准噶尔盆地边缘地区；轻度退化草地面积占 11.1%，主要分布在中度退化草地和未退化草地交界区域。

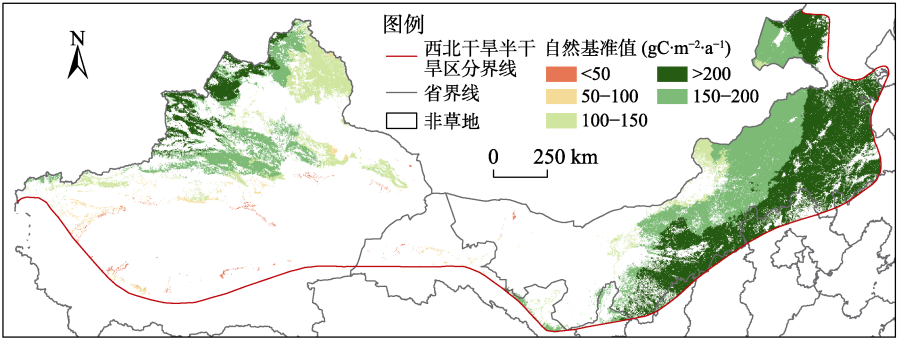


图2 2001–2023 年中国西北干旱半干旱区草地自然基准值空间分布图
（该图基于审图号 GS(2024)0650 号的标准地图制作，底图无修改）

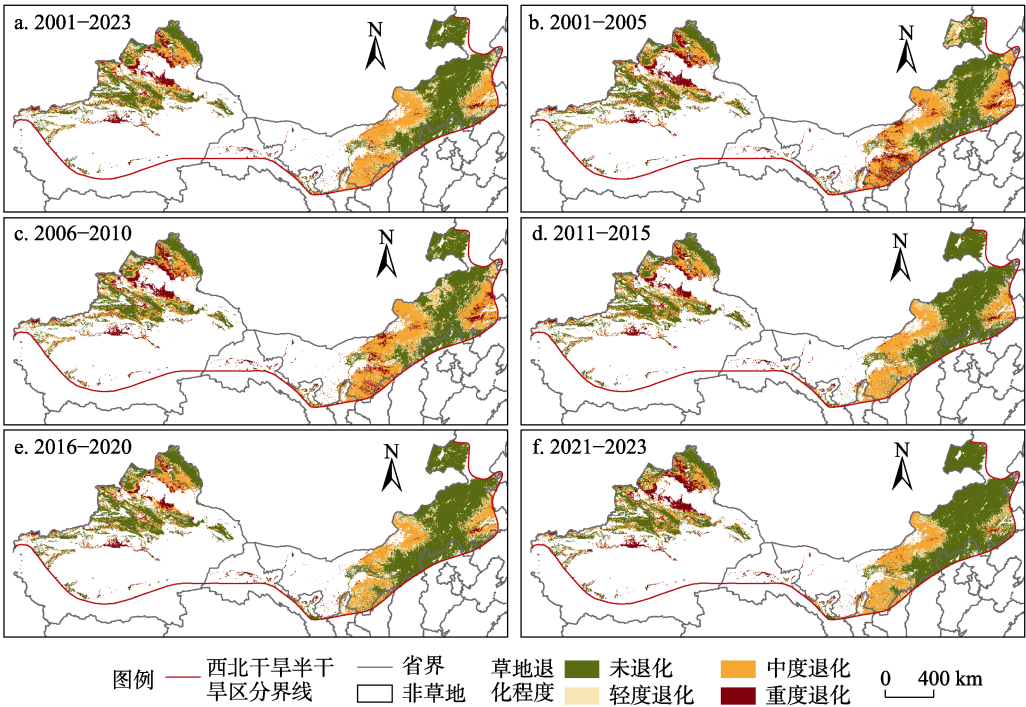


图3 各时期中国西北干旱半干旱区草地退化程度空间分布图
（该图基于审图号 GS(2024)0650 号的标准地图制作，底图无修改）

表 2 不同时段中国西北干旱半干旱区草地退化面积及占比统计表

时期	未退化		轻度退化		中度退化		重度退化	
	面积 (万 km ²)	比例 (%)	面积 (万 km ²)	比例 (%)	面积 (万 km ²)	比例 (%)	面积 (万 km ²)	比例 (%)
2001–2023	44.5	54.4	9.1	11.1	23.5	28.7	4.7	5.8
2001–2005	37.4	45.7	9.7	11.9	26.4	32.3	8.2	10.1
2006–2010	37.6	46.1	9.3	11.4	27.3	33.5	7.4	9.1
2011–2015	49.1	60.1	7.6	9.3	20.6	25.2	4.3	5.3
2016–2020	52.6	64.4	8.7	10.7	16.9	20.7	3.4	4.2
2021–2023	51.8	63.3	6.7	8.3	17.6	21.6	5.6	6.8

从各时期退化面积变化来看（表 2），区域草地退化状况总体向好，2001–2010 年间草地退化程度较为严重，退化草地面积超过 50%，整体处于中度退化阶段，退化草地面积略有增加，该时段内，东部地区的草地退化空间分布规律为由中间向东、向两侧依次出现轻、中、重度退化（图 3b, c），西部盆地边缘草地退化较为严重，而山区草地退化程度较轻。2011 年以后，未退化草地占比显著上升，单阶段最大涨幅接近 14 个百分点，未退化草地面积在 2016–2020 年间达到最高值，为 52.6 万 km²；而退化草地面积和退化程度均大幅减小（图 3d–f），其中轻、中度退化草地占比均有所下降，2021–2023 年间轻度退化草地面积达 23 年来最低，不同草地退化等级的接壤地带是草地退化等级转换的主要区域。其中，贺兰山以东地区草地退化程度自 2001 年后逐步减轻，退化草地面积有所减少，草地植被好转，得益于禁牧轮牧、防沙治沙生态恢复措施的广泛实施。但到 2021 年后，重度退化草地占比有所上升，西部地区的草地退化程度急剧加重，主要由中度退化草地转型为重度退化所致（图 3f）。

从年平均 GDI 变化趋势来看（图 4），最高值出现在 2001 年，之后总体呈现下降趋势，其倾向率为 $-0.514\% \text{ a}^{-1}$ ($P<0.01$)，说明研究区草地生产力不断提高，生态总体处于恢复状态。2001–2010 年间草地退化指数降幅较大，2011–2020 年间草地退化指数呈弱波动下降趋势，但 2020 年后，GDI 呈现上升趋势。

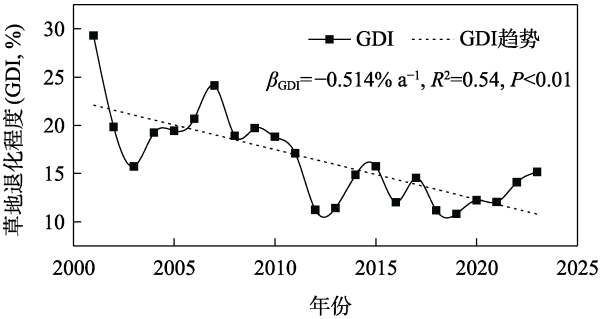


图 4 中国西北干旱半干旱区草地退化程度（GDI）年际变化图

4.3 数据结果验证

2012 国家统计局新疆调查总队关于新疆草地退化监测统计数据表明，新疆全域 85%的天然草地存在不同程度的退化情况，其中严重退化草地面积占 40%左右^[27]，这与本数据集

中 2007–2012 年间该区重度退化面积 36.5% 的统计结果比较接近，表明数据集研发方法量化的草地退化程度与实际情况较为接近。

5 总结

本数据集针对中国西北干旱半干旱区严峻的草地退化问题，基于遥感与气象数据，构建了以气候生产潜力（CPP）为自然基准的草地退化程度量化方法，研发了 2001–2023 年间区域草地退化程度数据集。数据集包括区域草地生产力自然基准、年度定量化草地退化程度以及多年草地退化程度分类数据，该数据集应用自然基准作为草地退化程度评估的客观基准，其在科学性、动态性和可比性方面具有一定优势，能有效解决草地退化评估中比较基准不统一、横向研究结果不可比等关键问题。本数据集生产方法可为草地退化评估提供新的参考，促进草原生态资源的可持续发展，服务于国家生态文明建设与全球气候变化应对战略。然而由于本方法与此前草地退化监测方法存在根本上不同，并且需要长期观测数据加以验证，因而无法直接和现有研究结果进行对比，后续研究工作将着力解决该关键问题。

作者分工：蔡迪文、尚志海对数据集的开发做了总体设计；蔡迪文、张颖倩采集和处理了数据；梁嘉宏、董兆吉设计了模型和算法；艾泽颖、罗文慧做了数据验证；蔡迪文、张颖倩和罗文慧撰写了数据论文等。

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] 董世魁, 张宇豪, 王冠聪. 草地健康与退化评价: 概念、原理及方法[J]. 草业科学, 2023, 40(12): 2971–2981.
- [2] Zhao, Y. B., Chang, C. C., Zhou, X. L., *et al.* Land use significantly improved grassland degradation and desertification states in China over the last two decades [J]. *Journal of Environmental Management*, 2024, 349: 119419.
- [3] Lang, Y. Q., Yang, X. H., Cai, H. Y. Assessing the degradation of grassland ecosystems based on the advanced local net production scaling method—the case of Inner Mongolia, China [J]. *Land Degradation & Development*, 2020, 32(2): 559–572.
- [4] 蔡迪文, 刘婉华, 谭颖怡等. 基于气候生产潜力基准的 2001–2023 年新疆草地退化时空特征[J]. 中国沙漠, 2025, 45(5): 134–144.
- [5] Liu, S. L., Wang, T., Kang, W. P., *et al.* Several challenges in monitoring and assessing desertification [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2014, 73(11): 7561–7570.
- [6] Gui, D. W., Liu, Q., Martinez-Valderrama, J., *et al.* Desertification baseline: a bottleneck for addressing desertification [J]. *Earth-Science Reviews*, 2024, 257: 104892.
- [7] Sims, N. C., England, J. R., Newnham, G. J., *et al.* Developing good practice guidance for estimating land degradation in the context of the United Nations Sustainable Development Goals [J]. *Environmental Science & Policy*, 2019, 92: 349–355.
- [8] 张艳珍, 王钊齐, 杨悦等. 蒙古高原草地退化程度时空分布定量研究[J]. 草业科学, 2018, 12(2):

- 233–243.
- [9] 吴红, 安如, 李晓雪等. 基于净初级生产力变化的草地退化监测研究[J]. 草业科学, 2011, 28(4): 536–542.
- [10] Zhang, N., Li, Z. Y., Feng, Y. M., *et al.* Development and application of a vegetation degradation classification approach for the temperate grasslands of northern China [J]. *Ecological Indicators*, 2023, 154: 110857.
- [11] Grosso, S. D. Parton, W., Stohlgren, T., *et al.* Global potential net primary production predicted from vegetation class, precipitation, and temperature [J]. *Ecology*, 2008, 89(8): 2117–2126.
- [12] 李军, 周发元, 焦亮等. 1960–2022 年河西走廊主要气候要素特征及气候生产潜力[J]. 中国沙漠, 2024(6): 14–25.
- [13] Lieth, H., Box, E. Evapotranspiration and primary productivity: C. W. Thornthwaite Memorial Model [J]. *Publications in Climatology*, 1972, 25(2): 37–46.
- [14] 周广胜, 张新时. 全球气候变化的中国自然植被的净第一性生产力研究[J]. 植物生态学报, 1996, 20(1): 11–19.
- [15] 蔡迪文, 张颖倩, 罗文慧等. 中国西北干旱半干旱区草地生产力自然基准值 500-m 栅格数据集 (2001–2023)[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2025. <https://doi.org/10.3974/geodb.2025.11.03.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.11.03.V1>.
- [16] 蔡迪文, 张颖倩, 罗文慧等. 中国西北干旱半干旱区逐年草地退化程度 500-m 栅格数据集(2001–2023) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2025. <https://doi.org/10.3974/geodb.2025.11.04.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.11.04.V1>.
- [17] 蔡迪文, 张颖倩, 罗文慧等. 中国西北干旱半干旱区每 5 年草地退化程度分类 500-m 栅格数据集 [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2025. <https://doi.org/10.3974/geodb.2025.11.05.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.11.05.V1>.
- [18] 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[J]. DOI: 10.3974/dp.policy.2014.05%20 (2017 年更新).
- [19] Heinsch, F. A., Reeves, M., Votava, P., *et al.* User's Guide GPP and NPP (MOD17A2/A3) Products NASA MODIS Land Algorithm [M/OL]. 2003. <https://modis-land.gsfc.nasa.gov/pdf/MOD17UsersGuide2015v3.pdf>.
- [20] 彭守璋. 中国 1 km 分辨率逐月降水量数据集(1901–2024) [DB/OL]. 国家青藏高原科学数据中心, 2020. DOI: 10.5281/zenodo.3114194.
- [21] 彭守璋. 中国 1 km 分辨率逐月平均气温数据集 (1901–2024) [DB/OL]. 国家青藏高原科学数据中心, 2019. DOI: 10.11888/Meteoro.tpd.270961.
- [22] Peng, S. Z., Ding, Y. X., Liu, W. Z., *et al.* 1 km monthly temperature and precipitation dataset for China from 1901 to 2017 [J]. *Earth System Science Data*, 2019, 11(4): 1931–1946.
- [23] Copernicus Climate Change Service (C3S). ERA5-Land hourly data from 1950 to present [DB/OL]. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), 2019. DOI: 10.24381/cds.e2161bac.
- [24] 赵松乔. 中国综合自然地理区划的一个新方案[J]. 地理学报, 1983, 38(1): 1–10.
- [25] Yu, C., Xu, L., He, N. P., *et al.* Optimization of vegetation carbon content parameters and their application in carbon storage estimation in China [J]. *Science of the Total Environment*, 2024, 955: 176912.
- [26] 农业农村部. 天然草地退化、沙化、盐渍化的分级指标 (GB 19377—2003)[S]. (2003-11-10) [2026-03-06]. <https://openstd.samr.gov.cn/bzgk/std/newGbInfo?hcno=5F1960D0692A36C09136E04E6DE60B4E>.
- [27] 国家统计局新疆调查总队. 新疆草场退化原因及目前草场管理使用上的问题[EB/OL]. (2012-08-29) [2026-03-06]. http://xjzd.stats.gov.cn/xwfb/xxfx/201208/t20120829_3954.html.