

DOI: 10.20103/j.stxb.202403260630

钟超慧, 陈甲豪, 杨涵, 金廷渊, 张子嘉, 胡中民, 吴凯. 基于核归一化植被指数的中国西部四省自然保护区保护成效评估. 生态学报, 2025, 45(3): 1199-1209.

Zhong C H, Chen J H, Yang H, Jin T Y, Zhang Z J, Hu Z M, Wu K. Assessment of conservation effectiveness in nature reserves of four provinces in western China based on kernel Normalized Difference Vegetation Index data. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(3): 1199-1209.

基于核归一化植被指数的中国西部四省自然保护区保护成效评估

钟超慧¹, 陈甲豪², 杨涵¹, 金廷渊¹, 张子嘉³, 胡中民^{1,4}, 吴凯^{1,4,*}

¹ 海南大学生态学院, 海口 570228

² 墨尔本大学基础设施工程系, 帕克维尔 3010

³ 海南省生态环境监测中心, 海口 571126

⁴ 保亭热带雨林生态系统海南省野外科学观测研究站, 海南大学生态学院, 海南省保亭黎族苗族自治县 572316

摘要:自然保护区作为中国西部四省(西藏自治区、四川省、青海省和甘肃省)生态系统的重要保护屏障, 评估其保护成效对推动生态文明建设具有重要意义。但当前鲜有在不同保护级别和保护对象(野生动物、野生植物、森林生态、内陆湿地以及荒漠生态)条件下综合评估中国西部四省自然保护区保护成效的研究。针对该问题, 基于核归一化植被指数(kNDVI), 采用趋势分析和稳定性指标这两种方法, 在不同保护级别和保护对象条件下分别从时间(保护区成立前后)和空间(保护区内外样地)维度系统地评估了中国西部四省自然保护区的保护成效。研究发现: (1) 近 40 年(1982—2022)中国西部四省保护区的植被生长整体呈上升趋势, 东部增长趋势高于西部; (2) 保护区保护成效较为显著, 保护区成立后虽然 70% 像元内植被稳定性下降, 但 52% 像元内植被生长趋势提高; 保护区内部的植被生长趋势和稳定性均优于外部; (3) 时间和空间维度分析均表明国家级内陆湿地类保护区优于省级, 时间维度分析显示省级野生动物类保护区优于国家级, 国家级森林生态类保护区优于省级, 但空间维度结果相反; (4) 保护区级别的提高(从省级变为国家级)对其保护成效有积极影响, 保护区处于国家级时期的保护成效优于省级。本研究可为中国保护区管护措施的完善和生态文明建设提供参考。

关键词:自然保护区; 保护成效; 核归一化植被指数(kNDVI); 稳定性; 趋势分析

Assessment of conservation effectiveness in nature reserves of four provinces in western China based on kernel Normalized Difference Vegetation Index data

ZHONG Chaohui¹, CHEN Jiahao², YANG Han¹, JIN Tingyuan¹, ZHANG Zijia³, HU Zhongmin^{1,4}, WU Kai^{1,4,*}

¹ School of Ecology, Hainan University, Haikou 570228, China

² Department of Infrastructure Engineering, The University of Melbourne, Parkville 3010, Australia

³ Hainan Provincial Ecological Environment Monitoring Center, Haikou 571126, China

⁴ Hainan Baoting Tropical Rainforest Ecosystem Observation and Research Station, School of Ecology, Hainan University, Haikou 572316, China

Abstract: As an important protection barrier of the ecosystems in the four provinces, including Tibet Autonomous Region, Sichuan Province, Qinghai Province, and Gansu Province of western China, it is of great significance to evaluate the conservation effectiveness of the natural reserves located in the four provinces of western China to promote the construction process of ecological civilization. However, there are currently few comprehensive studies evaluating the effectiveness of

基金项目: 海南省自然科学基金(623RC447); 海南大学科研启动基金项目(KYQD(ZR)-22084); 第二次青藏高原综合科学考察项目(2019QZKK0405)

收稿日期: 2024-03-26; **网络出版日期:** 2024-10-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: kaiwu@hainanu.edu.cn

natural reserves in the four provinces of western China with consideration of different protection levels and objectives. The objectives refer to the ecosystems characterized by the wild animals, wild vegetations, forests, inland wetlands, and desert. To address this issue, this study systematically evaluated the effectiveness of the natural reserves located in the four provinces of western China by applying two methods, i.e., trend analysis and stability indicators, to the kernel Normalized Difference Vegetation Index (kNDVI) data derived from the GIMMS NDVI product. Such evaluation was conducted from both temporal (before and after the natural reserve establishment) and spatial (inside and outside the natural reserves) dimensions with consideration of the different protection levels and objectives. Results show that (1) vegetation growth in the natural reserves of the four provinces in western China exhibited an upward trend over the past 40 years (from 1982 to 2022), and the trends of vegetations in the eastern regions were typically higher than those in the western regions; (2) protection effectiveness of the natural reserves is significant and remarkable. Although vegetation stability decreased after the reserve establishment in 70% of the total pixels, trend of vegetation growth increased in 52% of the total pixels. Moreover, vegetation growth trend and stability inside the natural reserves were better than those outside; (3) national-level inland wetland reserves were superior to provincial-level ones. Temporal analysis showed that provincial-level wildlife reserves were better than the national-level ones. In addition, reserves with national-level forest ecosystem were better than the provincial-level ones. Nevertheless, evaluation results of the spatial analysis were opposite when compared with those of the temporal analysis. (4) the upgrade of the protection level of a natural reserve, i.e., from provincial level to national level, has a positive impact on its conservation effectiveness. The conservation effectiveness during the nation-level-based period is superior to that during the provincial-level-based period. Our study provides a basic reference to improve the natural reserve management and our results can promote ecological civilization for natural reserves located in the western China.

Key Words: natural reserves; conservation effectiveness; kernel Normalized Difference Vegetation Index (kNDVI); stability; trend analysis

自然保护区作为自然资源环境保护的战略基地,对保护、恢复和提升各类生态系统的服务功能以及维持生物多样性至关重要^[1]。作为生态建设的核心载体,自然保护区在维护国家生态安全中居于首要地位,系统评估其保护成效可为政府制定相关生态保护政策、合理分配现存资源提供建设性意见,为建设美丽中国、践行生态文明提供重要参考^[2]。

迄今为止,中国已设立了约 2750 个涵盖不同类型和保护级别的自然保护区,约占全国陆地面积的 14.86%,其中一半以上的自然保护区位于中国西部地区^[3]。中国西部四省(西藏自治区、四川省、青海省和甘肃省)拥有较复杂的地质构造,且干燥少雨,其保护区内的生态系统脆弱性较高^[4],同时中国西部四省自然保护区的生态系统对气候变化和人类活动响应敏感,特别是位于青藏高原的三江源、羌塘和雅鲁藏布江等保护区^[5-6]。中国西部四省自然保护区不仅是我国重要的生态安全屏障,也是我国为数不多的天然原始林分布区和生物多样性表现最突出的地区,同时还是众多国家级珍稀和濒危物种的栖息地^[1],在全球气候变化加剧和人类活动增强的背景下,迫切需要对其保护成效进行系统评估,以此在保护生物多样性、涵养水源、保持水土、改善环境和保持生态平衡等方面发挥重要作用。

近年来,自然保护区成效评估一般采用专家打分^[7]、PSR 模型估计^[8-9]、实地调查^[10]以及遥感技术^[11-12]等方法。其中,专家打分法虽能够综合考虑多个方面的因素,但其评价结果具有较强的主观性;PSR 模型虽有系统性、合理性等优点,但也存在结构简单、不适合分析复杂系统等缺点^[13];实地调查的结果虽可靠性较高但费时费力且样本数量有限;遥感技术具有范围广、多源性、时效性、高精度等优点,使其成为保护区成效评估中常用的监测手段之一^[14]。目前已有研究利用植被遥感数据评估了保护区在整个研究时间段内的保护成效^[15-17],有研究进一步将研究时间段划分为保护区成立前后,采用时间断点分析方法评估了保护区建立前后的植被指数和植被类型变化^[18-19]。除了时间维度分析,有研究在空间维度上利用遥感数据对自然保护区内

外的植被生长趋势^[20]、土地覆盖变化^[21]、景观生态^[22-23]以及生态系统服务^[24]等因素进行了对比分析。但当
前相关研究一般局限于单个保护区,少有在长时间尺度上,针对不同保护级别和保护对象,系统性地评估中国
西部四省保护区的保护成效。此外,保护区在发展历史中可能经历了由省级到国家级的级别变更,这可能会对
自然保护区的成效评估有潜在影响,但目前研究对此问题的探讨相对较少。

针对上述研究不足,本文重点关注不同保护级别(国家级和省级)、不同保护对象(如野生植物和森林生态
保护区)条件下保护区的保护成效,时间上采用 GIMMS kNDVI 数据分析了 1982—2022 年各保护区成立前
后保护区内部植被的生长趋势和稳定性,并分析了保护区级别变更(由省级变为国家级)对其保护成效的影
响;空间上利用 MODIS 250m 分辨率的 kNDVI 数据,分析了 2000—2022 年中国西部四省各保护区内外样地的
植被生长趋势和稳定性。该研究可为中国西部四省资源优化利用和生态环境保护等方面提供参考和决策信
息,以期为实现区域的可持续发展做出贡献。

1 数据及方法

1.1 研究区概况

选取了位于西藏自治区、四川省、青海省和甘肃省的 82 个自然保护区(图 1),各保护区内 GIMMS kNDVI
有效像元数均大于 3 个,其矢量边界数据来源于 ArcGIS Online。同时参考了自然保护区网站(<http://www.zrbhq.com.cn>)以及中华人民共和国生态环境部(<https://www.mee.gov.cn>)发布的 2017 年全国自然保护区名
录,整理了 82 个保护区的成立时间、主要保护对象、保护级别等信息。经统计,选取的 82 个自然保护区中省
级和国家级保护区分别有 42 个和 40 个。

在 2.2 节时间维度分析中,筛选出保护区成立前 GIMSS kNDVI 时序大于 4 年的保护区,最后确定了 62 个
保护区。在 2.3 节空间维度分析中,针对 82 个保护区,我们仅保留了保护区成立后的 MODIS kNDVI 数据,以
此分析保护区成立后内部与外部样地植被生长趋势和稳定性的差异。

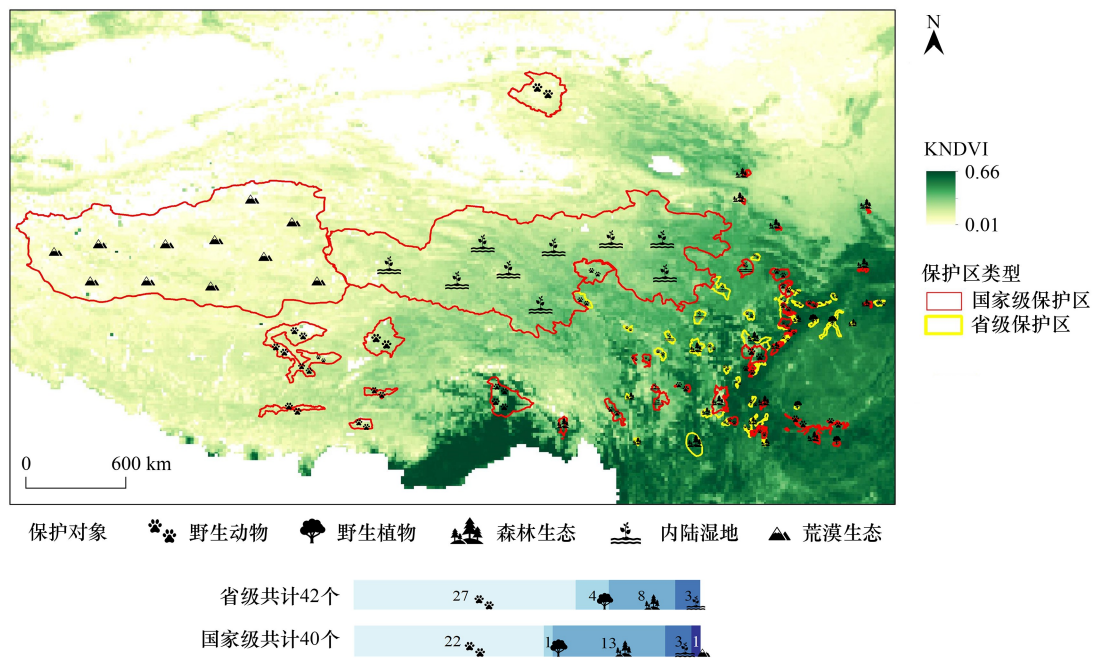


图 1 筛选的 82 个自然保护区的空间分布

Fig.1 Spatial distribution of the selected 82 natural reserves

1.2 植被和土地覆盖类型数据

用植被指数——归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)来描述植物的生长变化,

这里为了更准确地量化植被的生长状况,在 NDVI 的基础上,采用公式(1)计算了核归一化植被指数(kernel Normalized Difference Vegetation Index, kNDVI)。相较于传统的 NDVI, kNDVI 更准确地反映了植被生长情况,并解决了 NDVI 存在的大气噪声、土壤背景、饱和度处理误差缺陷^[25],其计算公式为:

$$kNDVI = \tanh(NDVI^2) \quad (1)$$

式中, $\tanh$ 为双曲正切函数。研究共使用了两套 NDVI 数据,在保护区成立前后的对比分析中, NDVI 为美国国家航天局提供的 GIMMS NDVI3G+长时间序列数据(<https://daac.ornl.gov/>),时间分辨率为半月,空间分辨率约为 $8\text{km}^{[26]}$,时间跨度为 1982—2022 年。它是当前时间序列最长的 NDVI 数据产品,涵盖了本研究中 85% 保护区的成立时间段。进一步采用最大值合成法合成 NDVI 月数据,最大值合成法可以减少云覆盖、大气、太阳高度角等因素对卫星观测的影响。此外,删除了 NDVI 数值小于 0.1 的观测数据,排除非植被的 NDVI 观测^[27]。

在保护区成立后的内外样地对比分析中,使用了空间分辨率为 250m 的 MODIS MOD13Q1 NDVI 数据,其时间分辨率为半月,可从 <https://lpdaac.usgs.gov/> 免费获取,时间跨度为 2000—2022 年。与 GIMMS NDVI 一样, MODIS 数据也经过以下步骤处理:首先,采用最大值合成法将 MODIS NDVI 由逐半月合成月数据;其次,删除了 NDVI 数值小于 0.1 的观测数据;最后,采用公式(1)计算得到 kNDVI 数据。

为了确保保护区内外选择样地有相同的土地覆盖类型,研究采用了 2020 年空间分辨率为 300m 的 CCI (Climate Change Initiative) 土地覆盖类型数据,并利用最邻近法将其重采样至空间分辨率为 250m 的 MODIS NDVI 网格上。

1.3 趋势分析与显著性检验

Theil-Sen Median 是一种非参数统计方法,具有计算效率高、鲁棒性强、适用范围广以及抗异常值干扰等特点^[28],本研究使用该算法量化了逐月 kNDVI 趋势,其计算公式为:

$$\beta = \text{Median}\left(\frac{x_j - x_i}{j - i}\right), \forall i < j \quad (2)$$

式中, x_i 和 x_j 分别为 i 和 j 时刻的 kNDVI 数据; β 为趋势值,其正负值分别表示时间序列呈上升和下降趋势。

Mann-Kendall 方法通常与 Theil-Sen Median 搭配使用,用于检验得到趋势值的显著性,它是一种非参数检验方法,不要求样本遵从特定的分布,且受异常值干扰小^[29]。根据趋势值和对应的显著性,在 P 值为 0.05 显著性水平的情况下,可将植被变化趋势分为以下 5 个等级:显著下降、不显著下降、无变化、不显著上升、显著上升。

1.4 稳定性指标

变异系数(Coefficient of Variation, CV)指标反映了时间序列的离散程度,可有效量化保护区内植被生长的稳定性,其计算公式如下:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (3)$$

式中, σ 和 $\bar{x}$ 分别为 kNDVI 时间序列的标准差和平均值。CV 为无量纲指标,值越大表示数据分布越离散,波动性越大;反之表示数据分布越紧凑,波动性越小。根据马超等^[30]的研究,可将 CV 分成以下 5 类:低波动($0 \leq CV < 0.2$)、相对较低波动($0.2 \leq CV < 0.4$)、中等波动($0.4 \leq CV < 0.6$)、相对较高波动($0.6 \leq CV < 0.8$)、高波动($CV \geq 0.8$)。

1.5 自然保护区保护成效分析

采用时间维度和空间维度分析两种方法评估了自然保护区的保护成效。时间维度分析中,以保护区成立时间为断点,分为保护区成立前和成立后两个时间段,采用 1982—2022 年的 kNDVI 长时序数据,分别计算这两个时间段内保护区植被变化的趋势和稳定性。空间维度分析中,使用 2000—2022 年 MODIS 250m 高空间分辨率的 kNDVI 数据,通过对比保护区内外样地趋势和稳定性的方法评估了保护区的保护成效。其中保护

区内外样地的选择标准如下:(1)保护区内外的像元属于同一种 CCI 土地覆盖类型;(2)保护区内外对比像元的距离小于 15km;(3)保护区内外像元数量一致,针对保护区内部某一像元,若保护区外部有多个像元满足前述条件(1—2),实验中仅保留了第一个满足条件的外部像元。

1.6 保护区级别变更对其保护成效的影响分析

从上述 82 个保护区中筛选出了 5 个自然保护区来评估保护区级别变更对其保护成效的影响,这 5 个保护区分别为察青松多、甘肃盐池湾、海子山、四川花萼山和长沙贡马自然保护区。这 5 个保护区满足以下条件:(1)存在由省级晋升为国家级的特征;(2)处于省级和国家级的年份数量差异较小(<13 年);(3)保护区内像元个数大于 10。针对筛选出的 5 个保护区,采用 1982—2022 年的 GIMMS kNDVI 数据,分别计算了各保护区处于省级和国家级时期的植被变化趋势和稳定性。

2 结果与分析

2.1 近 40 年保护区内植被生长趋势和稳定性分析

如图 2 所示,1982—2022 年中国西部四省 82 个自然保护区植被整体呈增长趋势, $\beta>0$ 和 $\beta<0$ 的像元分别占总像元的 63% 和 32%,东部增长趋势明显高于西部地区。大部分像元的变化趋势不显著, $\beta>0$ 的像元中仅有 18% 的像元通过了显著性检验,主要集中在研究区东部和中部的三江源保护区、羌塘保护区南部、海子山自然保护区;而 $\beta<0$ 的像元中仅有 10% 的像元通过显著性检验,主要集中在研究区东南部的雅鲁藏布江黑颈鹤自然保护区和马鞍山自然保护区等地。

1982—2022 年中国西部四省自然保护区内植被稳定性存在明显的空间异质性。除三江源、色林错黑颈鹤和四川省西部保护区的植被生长表现出较低稳定性外,其他保护区的稳定性都相对较高。图 2 的直方图表明研究区内高波动像元的数量占保护区总像元数的 39%,主要集中在三江源和色林错黑颈鹤保护区等地。其次占比较高的是相对较低波动像元,约占研究区总像元的 22%,主要分布在羌塘国家级自然保护区和位于

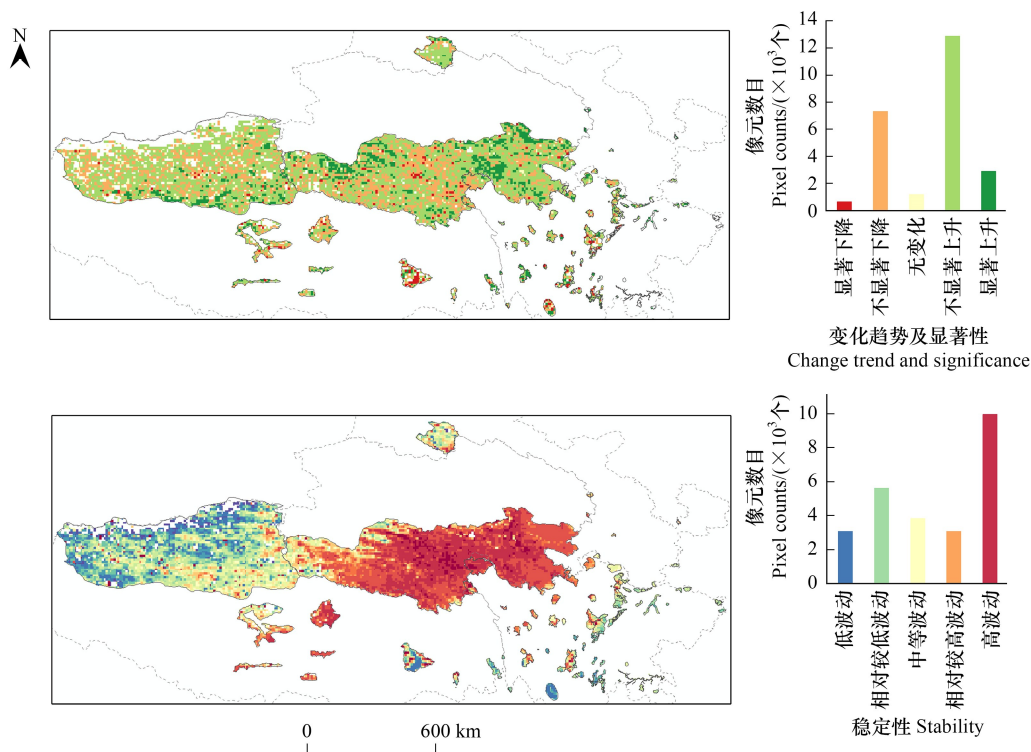


图 2 82 个保护区的植被生长趋势及稳定性的空间分布

Fig.2 Vegetation growth trends and stability of the 82 natural reserves

四川省中部和南部的保护区。相比之下,低波动、中等波动和相对较高波动的像元占比较小,均不超过 15%,主要分布在研究区的东南部和羌塘保护区。

2.2 时间维度分析:保护区成立前后植被的生长趋势与稳定性对比

图 3 中保护区成立前后植被生长趋势值的差值($\Delta\beta$)表明,成立后的研究区内,植被生长状况在 52% 的总像元内得到改善(表现为 $\Delta\beta > 0$)。其中得到明显改善($\Delta\beta > 4 \times 10^{-5}$)的像元主要集中分布在研究区中部,如三江源和长沙贡马保护区。值得注意的是保护区成立后,约 48% 的总像元内植被生长呈现出不同程度的褐变,集中分布在研究区东南部和西部,如西藏自治区和四川省西部的大部分保护区。此外,本研究发现三江源保护区内部的各个子保护区,如索加-曲麻河保护区、扎陵湖-鄂陵湖保护区、阿尼玛卿保护区等地,其植被生长状况整体良好,大部分像元内 $\Delta\beta > 0$ 。而三江源内部非保护区的居民生活区,如玛沁县和治多等地,植被生长状况出现了不同程度的退化(表现为 $\Delta\beta < 0$)。

与保护区成立前相比,保护区成立后 70% 总像元内植被的稳定性下降,这些像元主要集中分布在研究区的西部和中部,如三江源西部和羌塘自然保护区。需要注意的是,在稳定性下降的像元中,约 50% 的像元内 CV 倒数差值集中于 $(0, -0.2]$ 区间,表明保护区成立前后稳定性差异较小。相较于成立前,仅有 30% 的总像元内植被生长的稳定性有提高,主要分布在研究区的东南部,如三江源东南部和曼则塘湿地保护区等地。

综合趋势差异和稳定性差异结果,在三江源内部的麦秀保护区、扎陵湖-鄂陵湖保护区和白扎保护区、四川省海子山自然保护区等地,保护区成立后的植被生长趋势和稳定性均得到了明显改善。而植被生长趋势和稳定性在羌塘保护区的北部均呈退化状态。此外,在三江源的东部和南部、色林错黑颈鹤保护区以及四川省

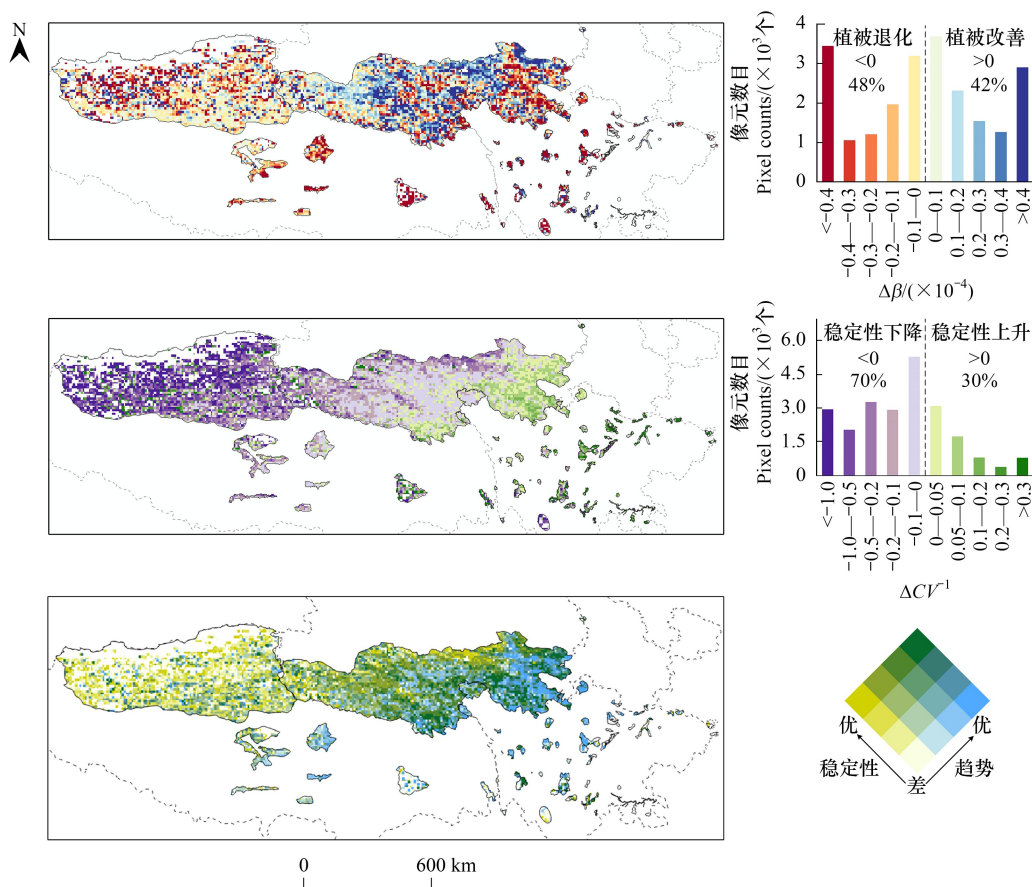


图 3 保护区成立前后植被的变化趋势及稳定性的差异

Fig.3 Differences of the trend and stability metrics before and after the natural reserve establishment

$\Delta\beta$: 保护区成立后 kNDVI 趋势值减保护区成立前 kNDVI 趋势值; ΔCV^{-1} : 保护区成立后 CV 倒数减保护区成立前 CV 倒数

西部部分保护区内,保护区成立后植被的稳定性增加,但植被生长趋势降低。与之相反,在羌塘保护区南部以及三江源北部边缘等地,植被在保护区成立后的生长趋势增加,但稳定性降低。

在不同保护级别和保护对象条件下,我们进一步对被筛选出的 62 个保护区进行了分析。如图 4 所示,国家级内陆湿地类保护区的保护成效比省级更加显著:虽然国家级和省级内陆湿地类保护区成立前后植被生长状况良好($\beta \geq 0$ 且呈低或中等波动)的像元占比差异较小,但国家级保护区成立后植被生长状况较差($\beta < 0$ 且呈中等或高波动)的像元占比下降了 10.8%,而省级保护区却上升了 13.8%。同时,图 4 显示国家级森林生态类保护区的保护成效优于省级保护区:省级森林生态类保护区成立后植被生长状况良好的像元占比下降了 22.7%,而国家级保护区仅下降了 16.9%;此外,国家级森林生态类保护区成立后,植被生长状况较差的像元占比上升了 6.3%,而省级保护区则上升了 20%。

相较于国家级保护区,省级野生动物类保护区的保护成效更为显著。国家级保护区成立后,植被生长状况较差的像元增加了约 29%,而省级保护区这一比例仅上升了 20%。图 4 还可以看出,省级野生植物和国家级荒漠生态类保护区的保护成效一般:这两类保护区成立后,植被生长状况良好的像元占比均呈下降趋势,而植被生长状况较差的像元占比则呈上升趋势。

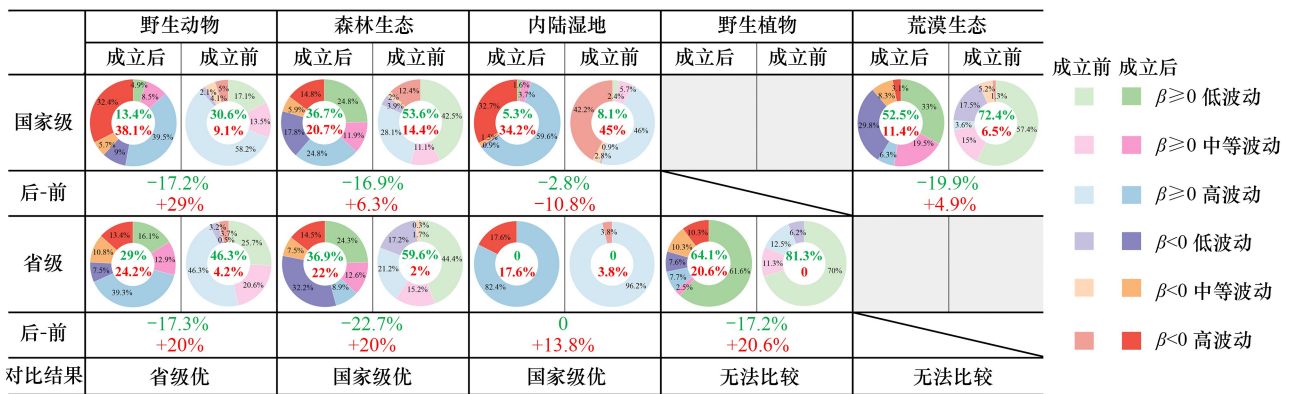


图 4 不同保护级别和保护对象条件下,保护区成立前后植被生长趋势和稳定性的对比统计图

Fig.4 Statistical chart that compares vegetation growth trends and stability before and after the natural reserve establishment under different protection levels and protection targets

根据趋势和稳定性情况,共分为 6 种类型。饼状图表示各类型下的像元占比情况。每个饼状图中间的绿色数值表示植被生长状况良好($\beta \geq 0$ 且呈低或中等波动)的像元占比,红色数值表示植被生长状况较差($\beta < 0$ 且呈中等或高波动)的像元占比。

从图 5 可以看出,保护区级别的变更对其保护成效的提升有积极影响,5 个保护区在晋升为国家级后的植被生长状况较处于省级时期均有所改善,虽然它们在处于省级和国家级时期植被均表现为高波动,但相较于省级时期,国家级时期保护区内呈下降趋势的像元占比更低。甘肃盐池湾保护区表现尤为明显,在省级时期有高达 52.4% 的像元内植被处于高波动并且植被生长呈下降趋势,晋升为国家级保护区后,这一比例大幅下降了 30.2%。

2.3 空间维度分析:保护区成立后内外部植被的生长趋势与稳定性对比

各保护区成立后,超 80% 的内部和外部像元内植被生长呈上升趋势,且东部上升趋势高于西部(图 6),但内外差异较小。保护区内部的植被生长状况略优于外部保护区,内部植被呈上升趋势($\beta \geq 0$)的像元占比(85.3%)略高于外部(84.8%),同时保护区外部植被呈较大下降趋势($\beta < -5 \times 10^{-5}$)的像元占比为 3.1%,而保护区内部为 2.8%。

研究区中部区域的稳定性明显低于其他区域,尤其是三江源、色林错和雅鲁藏布江等保护区。总体来看,保护区内外的植被生长趋势和稳定性大小相近,尽管保护区内部(43%)和外部(42.5%)不到 50% 的像元内植被稳定性较高,但保护区内部的植被稳定性略高于外部,表明保护区的设立对提高其内部植被的稳定性和生

长趋势有一定的积极影响。

保护区名称	察青松多 (26个像元)		甘肃盐池湾 (531个像元)		海子山 (75个像元)		四川花萼山 (18个像元)		长沙贡马 (229个像元)	
各级所占时间/a	省级 7	国家级 19	省级 24	国家级 17	省级 11	国家级 15	省级 8	国家级 16	省级 9	国家级 17
占比情况										
对比结果	国家级时期优		国家级时期优		国家级时期优		国家级时期优		国家级时期优	

图 5 选取的 5 个保护区内处于省级和国家级时期的植被生长趋势和稳定性对比

Fig.5 Comparison of the vegetation growth trend and stability metrics in the five selected natural reserves in the province- and nation-level periods

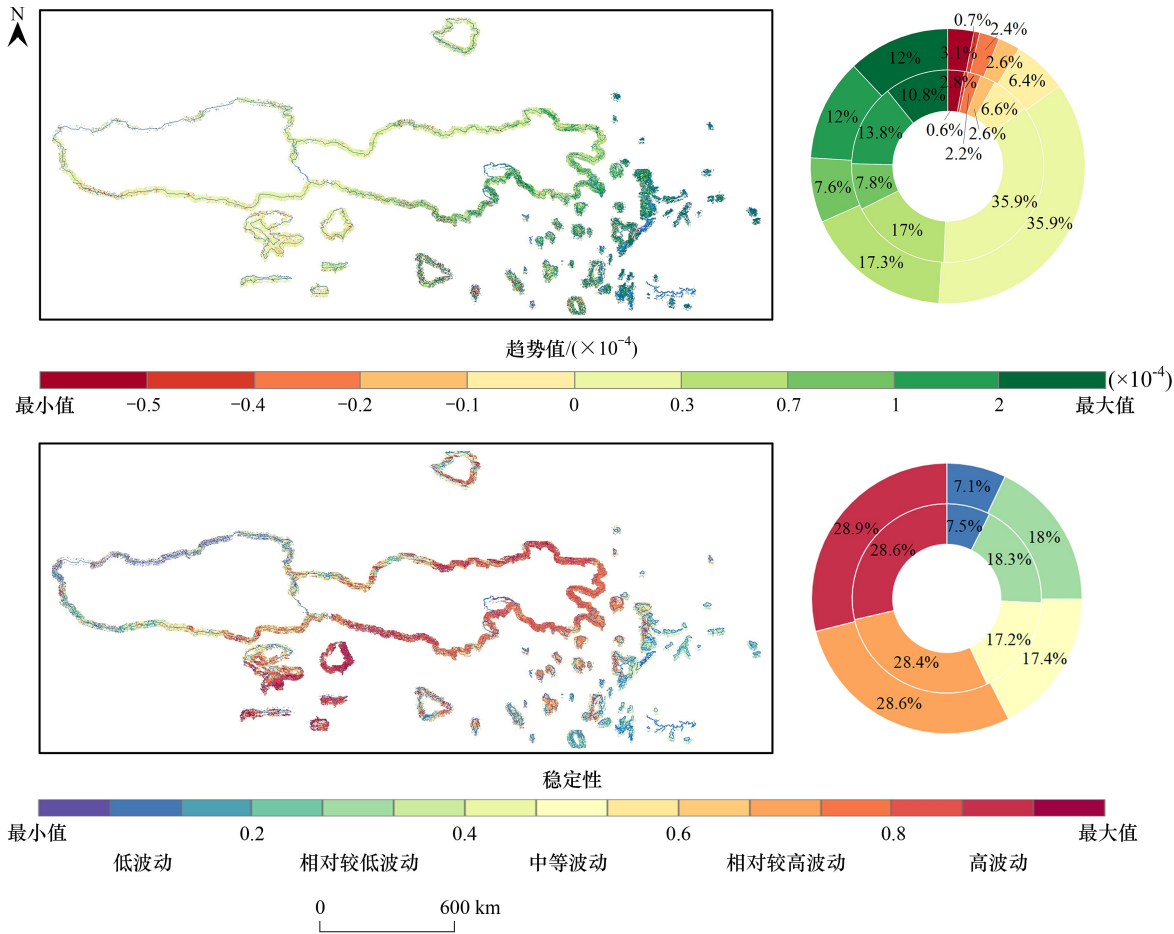


图 6 选取的 82 个保护区成立后内、外样地内植被的变化趋势值及稳定性的空间分布

Fig.6 Spatial distribution of the vegetation trend and stability metrics in the 82 selected natural reserves after their establishment
蓝色线内、外部分别为保护区内、外选择的样地, 环形图的内、外环分别展示了保护区内部、外部各类型像元的占比情况

对比时间维度的分析结果, 可以看到国家级内陆湿地类保护区的保护成效同样优于省级保护区。虽然国家级和省级保护区内部植被生长状况较差($\beta < 0$ 且呈中等或高波动)像元占比均低于外部, 但国家级保护区内部植被生长状况良好像元($\beta \geq 0$ 且呈低或中等波动)的占比高外部 0.5%, 而省级保护区内部植被生长状况良好像元的占比低外部 2.7%。此外, 本研究发现不同级别的野生动物和森林生态类保护区的保护成效对比

结果与时间维度分析的结果相反,即空间维度分析结果显示国家级野生动物类保护区优于省级,省级森林生态类保护区优于国家级。具体来说,野生动物类保护区中,国家级保护区内部植被生长状况良好的像元占比比低外部 0.5%,而省级保护区低外部 2.4%。省级森林生态类保护区内部植被生长状况良好的像元占比高于外部,且植被生长状况较差的像元占比低于外部;相反地,国家级保护区内部植被生长状况良好像元的占比低于外部,且植被生长状况较差像元比例高于外部。

对于野生植物类保护区而言,省级保护区的保护成效略优于国家级。两者的植被生长状况良好和较差像元占比差异不大。由于缺乏省级荒漠生态类保护区数据,无法针对其保护级别进行分析,但从图 7 仍可看到,国家级荒漠生态类保护区有效地改善了保护区内部植被的生长状况,其内部有 53%的像元植被生长状况良好,比外部多 4.7%,且内部植被生长状况较差的像元占比比外部少 3.9%。

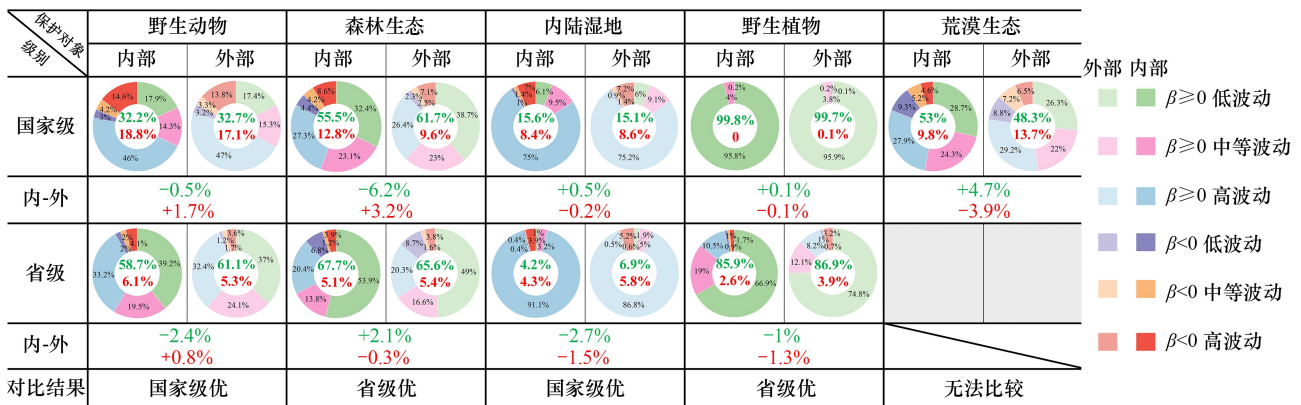


图 7 不同保护级别和保护对象条件下,保护区内部和外部植被生长趋势和稳定性的对比统计图

Fig.7 Statistical chart that compares the vegetation growth trend and stability metrics inside and outside the natural reserves under different protection levels and objectives

根据趋势和稳定性情况,共分为 6 种类型。饼状图表示各类型下的像元占比统计情况。每个饼状图中间的绿色数值表示植被生长状况良好($\beta \geq 0$ 且低或中等波动)的像元占比,红色数值表示植被生长状况较差($\beta < 0$ 且中等或高波动)的像元占比

3 讨论

中国西部四省保护区的保护成效较为显著。相较于保护区成立前,约有 52%地区的植被生长趋势提高,特别是三江源和长沙贡马等保护区;同时,保护区成立后其内部的植被生长趋势和稳定性均优于外部。这得益于近几十年来中国政府在西部地区实施的一系列自然保护区政策以及三江源保护工程^[31]、天然林保护工程^[32]等项目的实施。此外,中国社会经济的快速发展、公众保护意识的显著提升、国家政策的变化以及全球气候变暖导致的暖湿化现象对中国西部四省保护区的植被生长也产生了积极影响^[33]。若干综合因素的叠加使中国西部四省保护区的植被生长状况得到了显著改善,生态环境得以有效保护和恢复。

但是,时间维度分析结果显示西藏自治区和四川省西部的部分保护区内植被出现了不同程度的褐变,这与刘雨亭等^[15]研究类似,该褐变现象可能是因为这些地区处于气温较低的高山高寒地带,植被生长环境较为恶劣,同时气候变暖带来的暖湿化现象导致降水和云量增多、光照减少,因而植物光合作用减弱^[34]。除了气候因素,人类活动同样会影响保护区内植被生长状况,本研究发现三江源内部非保护区的居民区,如玛沁县和治多等地,植被出现褐变现象,表明居民区内的放牧和其他社会经济活动对三江源内部的非保护区植被造成了不同程度的侵扰^[35-36]。最近一项研究表明全国 86.72%自然保护区的人类活动压力呈上升趋势^[37],因此建议有关管理部门加强对保护区内人类活动的管控,强化保护区的生态保护功能。

时间和空间维度分析均显示国家级内陆湿地类保护区的保护成效优于省级,Zhao 等^[38]同样认为中国境内国家级较省级保护区有更好的保护效果。保护区的保护级别变更对其保护成效有显著影响,省级保护区晋

升为国家级后其保护区内的植被生长状况得到显著改善(图 5),表现为生长趋势由下降(处于省级时期)转为上升(处于国家级时期)。具体来说,国家级保护区通常获得更为充足的资源和资金支持,并且实施更为严格的管理和执法力度^[39],从而能够获得更有效的保护成效。此外,国家级保护区更注重科学研究和长期监测,与科研机构的密切合作使其能够及时地发现和应对生态问题^[40],这些优势使得国家级保护区在保护成效上表现更为突出。

但是,本研究发现时间和空间维度分析结果不完全一致,比如野生动物和森林生态类保护区。可能有以下几个原因:首先,GIMMS 和 MODIS kNDVI 数据存在巨大的空间分辨率差异,相较于 MODIS 数据结果,GIMMS 结果更多地表现出粗网格空间均值的含义;其次,研究区的选取存在显著差异,在时间维度分析中,研究区包括保护区内的所有像元,而空间维度分析中筛选出的是保护区内外 15km 范围内的像元,有研究指出保护区的保护成效与其所在位置密切相关^[41],因此本文选取的研究区可能无法较好地反映出保护区内部的保护成效;最后,与空间维度分析相比,时间维度分析结果不仅受保护区保护成效的影响,还可能受到全球气候变化背景的影响,这导致时间维度分析结果中难以有效区分植被变化究竟是受保护区保护的影响还是受气候变化的作用。

本研究存在三点不足。首先,时间和空间维度上的数据选择、研究区范围没有保持一致。其次,保护区成立前后极端气候事件对植被有显著影响,但在本文中并未予以考虑,未来研究中考虑极端气候事件,可以更加综合有效地评估保护区的保护成效。最后,本研究只考虑了 kNDVI 植被指数来评估保护成效,这可能无法较全面地评估野生动物自然保护区的保护成效,因为过于茂密的植被可能限制某些野生动物的活动空间,并且增加高强度火灾的风险,直接威胁野生动物的生存^[42]。

4 结论

(1) 1982—2022 年,中国西部保护区内的植被整体呈上升趋势(占比 63%),且东部植被增长趋势显著高于西部,其中三江源东南部和中部、羌塘南部以及海子山等保护区的植被呈显著上升趋势。

(2) 保护区的保护成效较为显著,虽然保护区成立后有 70%的像元内植被稳定性下降,但 52%的像元内植被生长趋势提高;保护区内部和外部分别有 43%和 42.5%的像元内植被稳定性较高,表明保护区内部的植被稳定性略高于外部。

(3) 时间和空间维度分析结果均表明国家级内陆湿地类保护区的保护成效优于省级,时间维度分析结果显示省级野生动物类保护区的保护成效优于国家级,国家级森林生态类保护区的保护成效优于省级,但空间维度分析结果与之相反。

(4) 保护区级别的提高(从省级变为国家级)对其保护成效有积极影响,保护区处于国家级时期的保护成效优于省级,表现为国家级时期保护区内呈下降趋势的像元占比低于省级时期。

参考文献(References):

- [1] 富全年,李春霖,汤萃文.荒漠类自然保护区保护成效评价研究综述.甘肃科技,2020,36(22):61-65.
- [2] Joppa L, Pfaff A. Reassessing the forest impacts of protection: the challenge of nonrandom location and a corrective method. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2010, 1185: 135-149.
- [3] 赵文飞,宗路平,王梦君.中国自然保护区空间分布特征研究.生态学报,2024(7):2786-2799.
- [4] 张怡梦.中国西部地区生态脆弱性评估——面向西部 45 个城市的探索性研究.统计与信息论坛,2018,33(8):74-84.
- [5] 张懿铨,胡忠俊,祁威,吴雪,摆万奇,李兰晖,丁明军,刘林山,王兆锋,郑度.基于 NPP 数据和样区对比法的青藏高原自然保护区保护成效分析.地理学报,2015,70(7):1027-1040.
- [6] 宋瑞玲,王昊,张迪,吕植,朱子云,张璐,刘炎林,才文公保,吴岚.基于 MODIS-EVI 评估三江源高寒草地的保护成效.生物多样性,2018,26(2):149-157.
- [7] 冯明桥,李乔明,冯育才,勾伟,江龙.贵州大沙河国家级自然保护区生态环境保护成效评估.野生动物学报,2023,44(3):649-656.
- [8] 辛利娟,朱彦鹏,陈冰,靳勇超,罗建武,王伟.基于 PSR 模型的云南苍山保护区保护成效研究.生态经济,2015,31(12):125-128,141.
- [9] Xu L, Zhang Z, Tan G, Zhou J, Wang Y. Analysis on the Evolution and Resilience of Ecological Network Structure in Wuhan Metropolitan Area.

- Sustainability, 2022, 14(14): 8580.
- [10] 安辉, 谭伟福. 广西自然保护区保护成效调查评估. 广西林业科学, 2015, 44(1): 80-83.
- [11] 李敏. 基于 NDVI 的神农架自然保护区保护成效分析. 测绘技术装备, 2023, 25(1): 5-10.
- [12] Zhang J, Ju C, Cai T, Sheng H, Jing X. Multi-Factor Collaborative Analysis of Conservation Effectiveness of Nature Reserves Based on Remote Sensing Data and Google Earth Engine. Remote Sensing, 2023, 15(18): 4594.
- [13] 赵翔, 贺桂珍. 基于 CiteSpace 的驱动力-压力-状态-影响-响应分析框架研究进展. 生态学报, 2021, 41(16): 6692-6705.
- [14] 张晓倩. 海南典型自然生态系统保护区保护成效遥感评估[D]. 江苏海洋大学, 2023.
- [15] 刘雨亭, 王磊, 李谢辉, 郭蕾. 西南地区 2000—2020 年植被覆盖度时空变化与影响因素分析. 高原气象, 2024, 43(1): 264-276.
- [16] 刘豪富, 李士成, 罗全欣. 基于人类足迹的长江经济带自然保护区保护成效评价. 生态学报, 2024, 44(8): 3172-3184.
- [17] 白穆, 王馨爽, 孟小亮, 耿伟, 孙鑫. 陕西黄河湿地省级自然保护区保护成效遥感监测与分析. 测绘地理信息, 2023, 48(5): 85-91.
- [18] 肖璐瑶, 张勘, 朱玉东, 束潇潇, 郑普阳, 王远飞, 梁福轩, 谢锋. 大凉山保护空缺分析与四川栗子坪国家级自然保护区保护成效评估. 生态学报, 2023, 43(11): 4502-4514.
- [19] 左丹丹, 罗鹏, 杨浩, 牟成香, 李月蛟, 莫利, 李婷, 罗川, 李红林, 吴素娟. 保护地空间邻近效应和保护成效评估——以若尔盖湿地国家级自然保护区为例. 应用与环境生物学报, 2019, 25(4): 854-861.
- [20] 王义贵, 饶日光, 李怡燃, 张秀芬, 刘道平. 祁连山国家公园 2001—2020 年植被总初级生产力变化及其对环境因子的响应. 自然保护地, 2023, 3(3): 1-10.
- [21] 王翠玲, 臧振华, 邱月, 邓舒雨, 冯朝阳, 谢宗强, 徐文婷, 刘蕾, 陈全胜, 申国珍. 湖北神农架国家级自然保护区森林和川金丝猴栖息地的保护成效. 生物多样性, 2017, 25(5): 504-512.
- [22] 李永进, 汤玉喜, 黎蕾, 唐洁, 杨艳, 牛艳东. 基于景观指数的洞庭湖自然保护区网络保护成效评估研究. 自然保护地, 2022, 2(3): 24-34.
- [23] 张明薇, 吕鸿达, 高世鑫, 郭涛, 石娟, 宗诚. 基于景观格局的扎龙国家级自然保护区湿地保护成效评估. 自然保护地, 2023, 3(3): 67-76.
- [24] Yu C, Zhang Z, Jeppesen E, Gao Y, Liu Y, Liu Y, Lu Q, Wang C, Sun X. Assessment of the effectiveness of China's protected areas in enhancing ecosystem services. Ecosystem Services, 2024, 65: 101588.
- [25] Camps-Valls G, Campos-Taberner M, Moreno-Martínez Á, Walther S, Duveiller G, Cescatti A, Mahecha M D, Muñoz-Marí J, García-Haro F J, Günter L, Jung M, Gamon J A, Reichstein M, Running S W. A unified vegetation index for quantifying the terrestrial biosphere. Science Advances, 2021, 7(9): eabc7447.
- [26] Tucker C J, Pinzon J E, Brown M E, Slayback D A, Pak E W, Mahoney R, Vermote E F, El Saleous N. An extended AVHRR 8 km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26(20): 4485-4498.
- [27] Jiang W G, Yuan L H, Wang W J, Cao R, Zhang Y F, Shen W M. Spatio-temporal analysis of vegetation variation in the Yellow River Basin. Ecological Indicators, 2015, 51: 117-126.
- [28] Ronald Eastman J, Sangermano F, Ghimire B, Zhu H L, Chen H, Neeti N, Cai Y M, Machado E A, Crema S C. Seasonal trend analysis of image time series. International Journal of Remote Sensing, 2009, 30(10): 2721-2726.
- [29] Hamed K H, Ramachandra Rao A. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. Journal of Hydrology, 1998, 204(1/2/3/4): 182-196.
- [30] 马超, 崔珍珍, 李婷婷, 彭杨钊. 中国“平原-山地”地形过渡带 NDVI 时空变异与气候响应. 生态学报, 2023, 43(5): 2141-2157.
- [31] 唐见, 曹慧群, 陈进. 生态保护工程和气候变化对长江源区植被变化的影响量化. 地理学报, 2019, 74(1): 76-86.
- [32] 谢和生, 许单云, 何亚婷, 王鹏, 何友均, 秦青. 我国天然林保护政策系统分析及优化研究. 生态学报, 2024(24): doi:10.20103/j.stxb.202311222550.
- [33] Lehnert L W, Wesche K, Trachte K, Reudenbach C, Bendix J. Climate variability rather than overstocking causes recent large scale cover changes of Tibetan pastures. Scientific Reports, 2016, 6: 24367.
- [34] 刘慧丽, 陈浩, 董廷旭, 马丽, 诸鑫, 黄天志. 川渝地区 NDVI 动态特征及其对气候变化的响应. 生态学报, 2023, 43(16): 6743-6757.
- [35] Chen B X, Zhang X Z, Tao J, Wu J S, Wang J S, Shi P L, Zhang Y J, Yu C Q. The impact of climate change and anthropogenic activities on alpine grassland over the Qinghai-Tibet Plateau. Agricultural and Forest Meteorology, 2014, 189-190: 11-18.
- [36] Glindemann T, Wang C, Tas B M, Schiborra A, Gierus M, Taube F, Susenbeth A. Impact of grazing intensity on herbage intake, composition, and digestibility and on live weight gain of sheep on the Inner Mongolian steppe. Livestock Science, 2009, 124(1/2/3): 142-147.
- [37] 张涵, 黎夏, 石洪, 刘晓娟. 基于倾向得分匹配方法的中国自然保护区缓解人类活动压力评估. 地理学报, 2021, 76(3): 680-693.
- [38] Zhao H W, Wu R D, Long Y C, Hu J M, Yang F L, Jin T, Wang J J, Hu P J, Wu W, Diao Y X, Guo Y. Individual-level performance of nature reserves in forest protection and the effects of management level and establishment age. Biological Conservation, 2019, 233: 23-30.
- [39] 段伟, 欧阳波. 自然保护区对周边农户多维贫困的影响——基于社会资本的中介效应分析. 资源科学, 2020, 42(6): 1074-1086.
- [40] Chen W X, Gu T C, Xiang J W, Luo T, Zeng J. Assessing the conservation effectiveness of national nature reserves in China. Applied Geography, 2023, 161: 103125.
- [41] Joppa L N, Pfaff A. High and Far: Biases in the Location of Protected Areas. PLOS ONE, 2009, 4(12): e8273.
- [42] Ogden L E. Do wildlife corridors have a downside?. Bioscience, 2015, 65(4): 452-452.