

# 2001~2020年金沙江流域植被覆盖变化特征分析

张叶丹<sup>1</sup>, 马欠<sup>1\*</sup>, 马永超<sup>2</sup>, 马涛<sup>1</sup>, 刘燕<sup>1</sup>, 邓敏<sup>1</sup>

<sup>1</sup>昭通学院地理科学与旅游学院, 云南 昭通

<sup>2</sup>云南师范大学地理学部, 云南 昆明

收稿日期: 2025年5月9日; 录用日期: 2025年8月4日; 发布日期: 2025年8月13日

## 摘要

金沙江流域位于中国的西南部, 是长江上游重要的生态保护区。随着全球气候变化的加剧和人类活动的影响, 该流域的植被覆盖状况发生了显著变化。本文利用遥感数据计算植被归一化差值植被指数 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), 结合土地利用动态, 定量分析金沙江流域2001年~2020年20年间植被覆盖度的变化。研究结果发现了植被覆盖的显著变化区域及其动态变化模式。2001~2020年间金沙江流域年均NDVI在波动中呈显著增加趋势, 增加趋势最显著的是建筑, 建筑的增加趋势影响了植被覆盖度。结果表明人类活动是影响金沙江流域植被覆盖度的最主要因素, 此外, 金沙江流域植被覆盖度也呈上升趋势。研究结果表明植被覆盖度增长有助于提升流域的水资源稳定性和质量, 对农业生产以及旅游开发等方面也产生了积极的影响。

## 关键词

金沙江流域, 植被覆盖, 时空变化, 土地利用动态

# Analysis of Vegetation Cover Changes in the Jinsha River Basin from 2001 to 2020

Yedan Zhang<sup>1</sup>, Qian Ma<sup>1\*</sup>, Yongchao Ma<sup>2</sup>, Tao Ma<sup>1</sup>, Yan Liu<sup>1</sup>, Min Deng<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Geography and Tourism, Zhaotong University, Zhaotong Yunnan

<sup>2</sup>Faculty of Geography, Yunnan Normal University, Kunming Yunnan

Received: May 9<sup>th</sup>, 2025; accepted: Aug. 4<sup>th</sup>, 2025; published: Aug. 13<sup>th</sup>, 2025

\*通讯作者。

文章引用: 张叶丹, 马欠, 马永超, 马涛, 刘燕, 邓敏. 2001~2020年金沙江流域植被覆盖变化特征分析[J]. 地理科学研究, 2025, 14(4): 752-764. DOI: 10.12677/gser.2025.144073

## Abstract

The Jinsha River Basin is located in the southwest of China and is an important ecological protection area in the upper reaches of the Yangtze River. With the intensification of global climate change and the impact of human activities, the vegetation coverage in the basin has changed significantly. This paper uses remote sensing data to calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), and combines land use dynamics to quantitatively analyze the changes in vegetation coverage in the Jinsha River Basin from 2001 to 2020. The research results found significant changes in vegetation coverage and its dynamic change pattern. From 2001 to 2020, the annual average NDVI in the Jinsha River Basin showed a significant increasing trend in fluctuations, and the most significant increasing trend was in buildings, which affected the vegetation coverage. This result shows that human activities are the most important factor affecting the vegetation coverage in the Jinsha River Basin. In addition, the vegetation coverage in the Jinsha River Basin is also on the rise. The research results show that the increase in vegetation coverage helps to improve the stability and quality of water resources in the basin, and also has a positive impact on agricultural production and tourism development.

## Keywords

Jinsha River Basin, Vegetation Cover, Spatiotemporal Change, Land Use Dynamics

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

金沙江流域地处青藏高原至四川盆地的过渡地带[1], 覆盖中国西部多省, 生态环境复杂且关键[2]。全球气候变暖与人类活动加剧, 使该流域生态环境面临严峻挑战。植被覆盖在全球范围内呈改善趋势[3], 植被作为环境变化的敏感指标, 其覆盖变化直接影响径流量[4]、洪水频率、土壤侵蚀及生物多样性[5][6]。归一化植被指数(NDVI)作为评估植被状况的有效工具, 能反映地表植被覆盖的变化。利用该方法分析金沙江流域植被覆盖变化有利于我们直观地看出变化与区别。植被覆盖概况在全球范围内皆呈改善趋势, 且在北半球的中高纬度地区尤为突出[7]。现有研究表明, 植被覆盖变化的驱动因素主要表现为气候变化和人类活动[8], 其中降水和气温是影响植被变化的主要气候因子[9][10], 人类活动则多聚焦于其对植被覆盖的正负效应研究[11][12]。区域差异导致植被覆盖与气候变化和人类活动的关系存在较强的空间差异性[13]。植被在生态系统进程中扮演着重要的角色, 植被覆盖度是衡量植物群落覆盖地表状况的重要指标, 也是区域生态环境优劣的重要表征之一[14]。与植被覆盖度有正相关关系的归一化植被指数 NDVI [15], 能直观表征地表植被活动的强弱, 是目前植被覆盖度时空变化与影响因子研究中运用最广泛的指数[16]。在全球气候变化的大背景下, 地球各圈层受气候变暖的影响日益显著[17][18], 人类活动和经济发展使得生态系统严重退化[19], 加强植被生态系统结构、功能的研究, 对区域生态系统的恢复与保护至关重要。因此, 利用 NDVI 对区域植被覆盖度进行估算, 探讨影响植被覆盖度变化的驱动因子成为当前生态领域

的研究热点。此外，作为生态系统表述的重要数据基础，植被覆盖度也广泛应用于生态脆弱区的植被退化研究、土地利用变化研究[20]、土地荒漠化评价[21]等领域。前人基于 NDVI 监测植被覆盖度变化已取得大量成果，但由于受到人类活动对生态系统影响的不确定性和生态系统本身的复杂性，各区域植被覆盖变化存在显著差异。

尽管国内在此领域研究丰富，方法多样，但植被与环境是不断变化的需要定期监测，例如：数据源的局限性与预处理复杂性；遥感数据易受云层、大气散射及传感器误差干扰，需依赖复杂的预处理技术(如最大值合成法)来降低噪声，但仍可能导致数据失真或缺失。此外，不同数据源(如光学与微波遥感)的融合技术尚不成熟，难以全面反映植被动态。时空分辨率与模型适应性不足：部分研究依赖中低分辨率遥感数据(如 MODIS NDVI)，难以捕捉小尺度植被变化细节，尤其在城市扩张或地形复杂区域误差显著。同时，现有模型(如线性回归、Theil-Sen 趋势分析)对非线性变化(如极端气候事件)的适应性较差，可能低估突变影响。驱动机制分析的片面性：多数研究侧重单一驱动因子(如气候或人类活动)，缺乏多因素交互作用的系统性分析。例如，气候变化与土地利用变化的耦合效应常被简化，导致归因偏差。此外，人类活动数据(如造林面积)的空间分辨率不足，难以精准量化其影响。自然恢复与人工干预的平衡难题：过度依赖人工干预(如大规模造林)可能超出区域水资源承载力，引发土壤干化或植被衰退；而单纯依赖自然恢复则周期长、难以应对紧迫生态问题。例如，三北工程中需动态平衡“以水定绿”与生态修复时效性。生态脆弱性评估的指标单一性：现有评估多基于植被覆盖度等少数指标，忽视生物多样性、土壤健康等综合生态参数，导致脆弱性分析不够全面。此外，缺乏长期连续监测数据，限制了对生态恢复效果的动态评估。技术与方法的区域适用性差异：不同地理环境(如高寒区与干旱区)的植被响应机制差异显著，但现有方法常采用统一阈值或模型，导致局部适用性不足。例如，滇西北高海拔地区与滇中城市区的 NDVI 变化机制需差异化解析，而现有研究多泛化处理。本研究侧重利用 NDVI 结合土地利用动态度分析金沙江流域植被覆盖变化特征，以期为该流域的生态保护与可持续发展提供科学依据。

## 2. 研究区与数据

### 2.1. 研究区概况

金沙江流域位于中国长江上游，横跨青、云、川、藏四省区，干流长 3496 公里，面积 47.3 万平方公里，位于北纬 24°25'~36°05'之间，东经 89°48'~104°16'之间。流域地形西北高东南低，高程 272 米至 6575 米。气候多样，包括高原山地、干热河谷和亚热带季风区，年均降水量 757.9 毫米，集中于 6~9 月；年均气温 4℃~12℃，河谷地区可达 20℃以上。地貌类型复杂，含高原、山地、河谷等，地质条件多变，影响植被分布。

植被垂直分布明显，低海拔(<2500 米)以亚热带常绿阔叶林、云南松林为主，年降水量约 1000 毫米；高海拔(>2500 米)则以硬叶常绿阔叶林、针阔叶混交林为主，年降水量 620~1100 毫米。特有干热河谷植被，如萨王纳植被，由焚风效应和地形条件形成，全年蒸发量远大于降水量，年均温 > 20℃。

流域生态环境复杂，生物多样性丰富，但受过度放牧、森林砍伐等人类活动影响，植被景观破碎，生态恶化，尤其是河谷地区。研究金沙江流域植被覆盖变化，对生态保护、管理，及制定可持续土地利用政策和生态修复措施具有重要意义，是维护长江上游生态屏障、促进可持续发展的关键。

### 2.2. 数据及预处理

#### 2.2.1. 数据源介绍

本研究主要依赖于多种数据源以全面分析金沙江流域植被覆盖的时空变化特征。具体数据来源包括：本研究选择了 2001~2020 年美国国家航空航天局(NASA)的空间分辨率为 250 m、分辨率为 16 d 的

MOD13Q1-EVI 数据。采用中分辨率成像光谱仪(MODIS)的归一化植被指数(NDVI)数据, 该数据时间序列长, 空间分辨率适中, 适合大区域植被覆盖变化的监测。参考国家资源环境科学数据中心发布的土地利用现状数据, 结合 Google Earth 等在线资源, 分析土地利用类型的变化及其对植被覆盖的影响。利用土地利用动态来评估人类活动对植被覆盖变化的间接影响。

### 2.2.2. 数据预处理

为确保数据的准确性和可比性, 对收集到的原始数据进行了以下预处理步骤:

#### (1) MOD13Q1 数据下载与预处理及土地利用数据准备

本研究使用美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)提供的 MOD13Q1 遥感数据, 时间范围为 2000 年至 2022 年, 空间范围覆盖中国全境。数据下载自 NASA 官方数据检索平台(<https://search.earthdata.nasa.gov/search>), 包含 250 m 分辨率、16 天复访周期的归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)产品(250 m 16 days NDVI)及其像元可靠性数据(250 m 16 days pixel reliability)。

为确保数据的空间一致性, 利用 MODIS Reprojection Tool (MRT)对原始数据进行投影转换、格式转换及拼接, 最终获得符合研究需求的标准化 NDVI 影像数据。同时, 收集并整理研究区域的土地利用数据, 为后续像元质量优化提供依据。

#### (2) 单期影像同类地物噪声像元初步重建

MOD13Q1 数据中受云、阴影、大气等因素影响的像元通常表现为较低质量的像元可靠性值(即 250 m 16 days pixel reliability = 2 或 3), 这些噪声像元可能对植被指数时序分析产生干扰。因此, 本研究基于土地利用数据, 对噪声像元进行初步重建, 以提高数据质量和时空连续性。

具体方法如下:

- ① 以噪声像元为中心建立  $13 \times 13$  的移动窗口;
- ② 在该窗口内, 根据土地利用数据筛选出与中心像元类别一致的高质量像元(像元可靠性值为 0 或 1);
- ③ 计算这些同类地物像元在 250 m 16 days NDVI 影像中的均值, 并用于替换中心噪声像元的 NDVI 值; 经过上述处理, 获得噪声像元初步重建的 NDVI 影像数据。

#### (3) 长时间序列影像 S-G 滤波重建

NDVI 时序数据通常受到噪声干扰, 导致时间序列曲线出现异常波动。为提高数据的时序连续性和稳定性, 采用 Savitzky-Golay (S-G)滤波方法对初步重建的 NDVI 数据进行时间序列平滑处理。

S-G 滤波是一种基于局部多项式拟合的平滑方法, 其核心思想是在滑动窗口内对数据进行低阶多项式拟合, 从而减少高频噪声。本研究设定滤波参数如下:

- ① 采用二次多项式(quadratic polynomial)进行拟合;
- ② 设定时间滑动窗口宽度为 3 (即覆盖 48 天);
- ③ 依时间维度对 NDVI 影像数据进行平滑重建, 生成 S-G 滤波后的 NDVI 影像数据。

#### (4) 高质量像元保留

为了最大程度保留原始高质量数据, 在 S-G 滤波后, 对像元可靠性值为 0 (即最高质量)的像元, 其 NDVI 值直接采用原始 MOD13Q1 影像数据进行替换, 以确保数据的真实性和可靠性。经过此步骤处理后, 获得优化后的 NDVI 影像数据。

#### (5) 研究区域数据提取与归一化

采用 ArcGIS 软件对处理后的 NDVI 影像数据进行空间裁剪, 以匹配金沙江流域的研究区域范围。进一步对数据进行归一化处理, 确保不同时间段 NDVI 数据的可比性, 并最终生成金沙江流域 2001~2020

年的年度 NDVI 数据，为后续植被动态变化分析提供高质量的遥感数据支持。

### 3. 研究方法

#### 3.1. NDVI (归一化植被指数)计算

1. 植被指数选择与计算：考虑到研究植被覆盖，选择归一化差值植被指数(NDVI)作为反映植被覆盖状况的指标。NDVI 计算公式为：

$$NDVI = (NIR + R) / (NIR - R)$$

其中：NIR 为近红外波段反射率，R 为红光波段反射率。

2. 波段提取与计算：从预处理后的遥感影像中提取近红外波段和红光波段数据，利用 ArcGIS 的波段运算功能，按照 NDVI 公式进行计算，得到研究区域各时期的 NDVI 数据。

3. 数据质量控制：对计算得到的 NDVI 数据进行质量检查，排除因云、阴影等造成的异常值。可通过设定合理的 NDVI 阈值范围(如-1 到 1)，对超出范围的数据进行剔除或修正。

#### 3.2. 植被覆盖时空变化分析

时间序列分析趋势分析：采用线性回归分析方法，对每个像元的 NDVI 时间序列数据进行拟合，得到 NDVI 随时间的变化趋势斜率。根据斜率的正负判断植被覆盖是增加还是减少，斜率的绝对值大小表示变化的快慢。

显著性检验：对线性回归分析得到的趋势斜率进行显著性检验，判断植被覆盖变化趋势是否显著。

空间分布分析分级统计：根据 NDVI 值的分布情况，将其划分为低植被覆盖区、中植被覆盖区、高植被覆盖区，统计各等级在不同年份的面积占比和空间分布。

空间插值：利用克里金插值等方法，对离散的 NDVI 数据进行空间插值，生成连续的 NDVI 空间分布图，直观展示植被覆盖的空间变化特征。

显著变化区域识别：通过计算相邻年份 NDVI 值的差异，设定合适的阈值，识别出植被覆盖发生显著变化的区域，并分析这些区域的空间分布规律。

归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index)能客观反映地表植被覆盖的丰度与变化状况，是用于监测全球范围内地表植被覆盖与生态环境变化的有效指标。本研究旨在利用遥感监测与 GIS 技术，结合土地利用数据，深入分析金沙江流域植被覆盖的时空变化特征。通过探讨人为驱动因素对植被覆盖的影响，评估其对区域生态系统和社会经济的潜在影响，为生态保护、植被恢复与管理提供科学依据。金沙江流域作为重要涵养水源区和生态屏障，其植被覆盖变化直接反映区域生态环境趋势，对制定生态保护政策、开展护林造林及水土保持工作至关重要，对实现区域可持续发展具有重要意义。

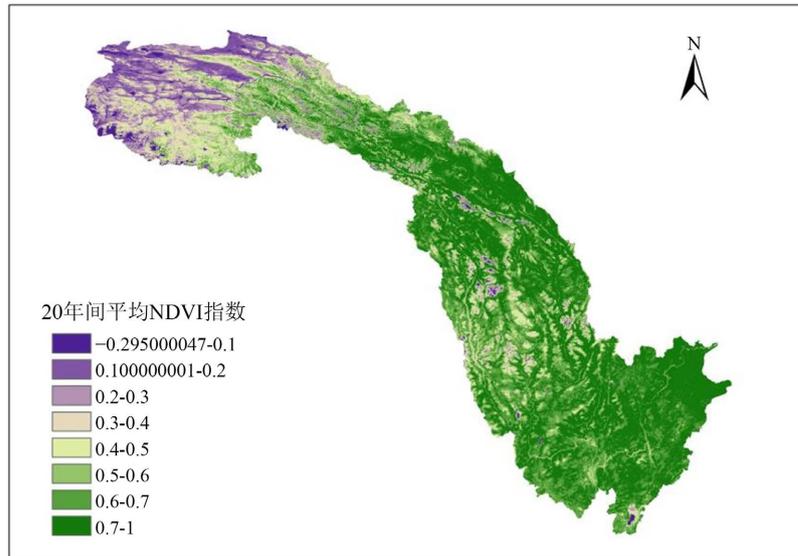
### 4. 结果分析

#### 4.1. 时间序列变化分析

在金沙江流域植被覆盖的时间序列变化分析中，本研究采用了长时间序列的卫星遥感数据，MODIS NDVI (归一化植被指数)数据集，以揭示植被覆盖的动态变化趋势。列出了 20 年间金沙江流域的归一化植被指数，通过对这些数据的处理与分析，我们得到了以下主要发现：

本文计算了金沙江流域 20 年平均归一化植被指数，并绘制了最终成果图。结果显示，在过去几十年间，金沙江流域的整体植被覆盖度呈现出波动上升的趋势。因为金沙江流域既是生态保护区也是气候敏感区，所以这一趋势可能受到多种因素的影响，包括气候的变化、生态保护政策的实施以及人类活动的

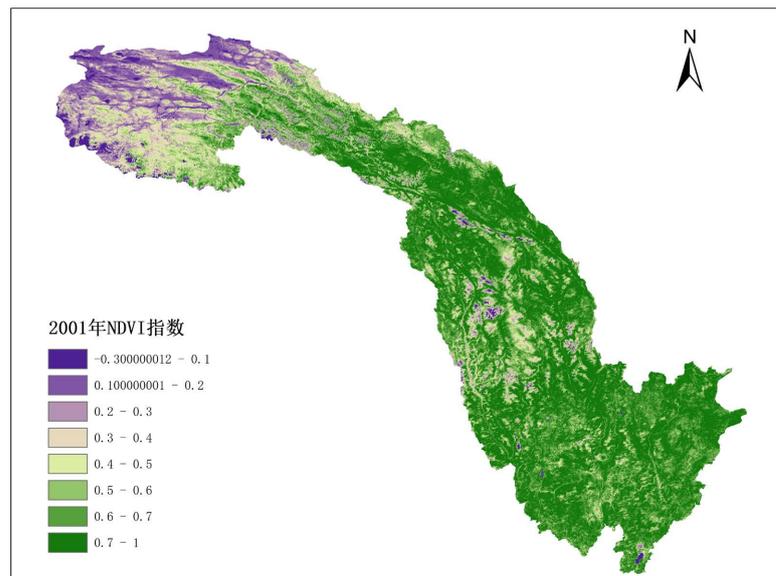
变化等(金沙江流域 20 年间平均 NDVI 指数如图 1 所示)。



注：该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为 GS (2019) 1822 号的标准地图制作，底图无修改。

**Figure 1.** Average NDVI index of Jinsha River basin in 20 years  
**图 1.** 金沙江流域 20 年间平均 NDVI 指数

图 1 为金沙江流域 2001 年~2020 年 20 年间平均的 NDVI 指数，图例中的 NDVI 指数越高，植被覆盖度越高，植被生长状况越好。

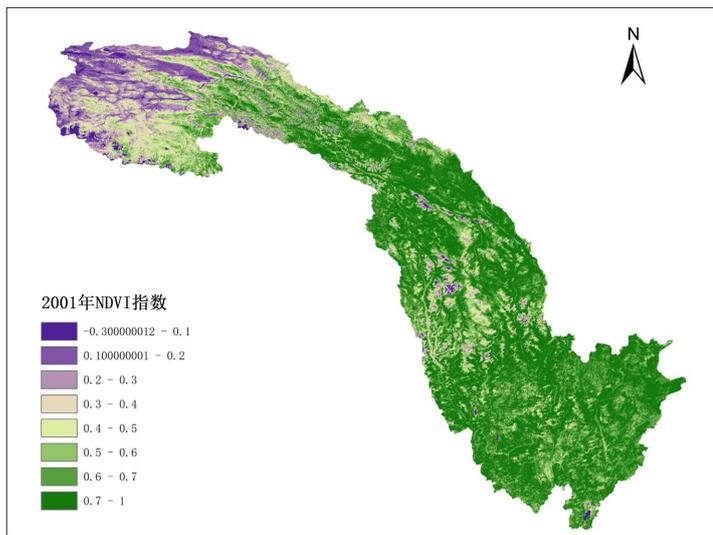


注：该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为 GS (2019) 1822 号的标准地图制作，底图无修改。

**Figure 2.** NDVI Index of Jinsha River Basin in 2001  
**图 2.** 金沙江流域 2001 年 NDVI 指数

在年际变化方面，我们对比了 2001 年至 2020 年份的植被覆盖度数据，发现存在显著的年际波动。一些年份(例如 2015 年)植被覆盖度出现明显下降；而另一些年份(例如 2020 年)，在良好的气候条件和有效的生态保护措施下，植被覆盖度则呈现出上升趋势。这些年际变化不仅反映了气候变化的复杂性，也揭示了人类活动对植被覆盖的潜在影响。(下图为 2001；2005；2010；2015；2020 NDVI 指数对比)这些图表直观地展示了金沙江流域在这二十年间的植被覆盖变化情况。

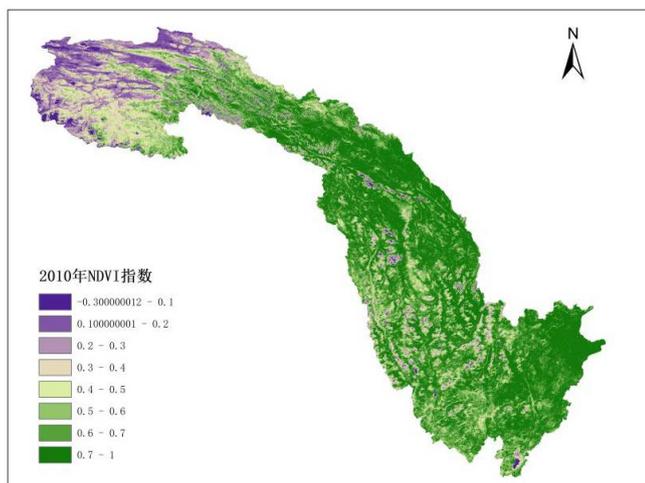
图 2 显示了金沙江流域在 2001 年的植被覆盖情况。通过观察可以发现，金沙江流域东南部区域的 NDVI 值较高，表示植被覆盖较为茂密；而西北部区域的 NDVI 值则相对较低，植被覆盖情况相对稀疏。



注：该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为 GS (2019) 1822 号的标准地图制作，底图无修改。

Figure 3. NDVI Index of Jinsha River Basin in 2005

图 3. 金沙江流域 2005 年 NDVI 指数



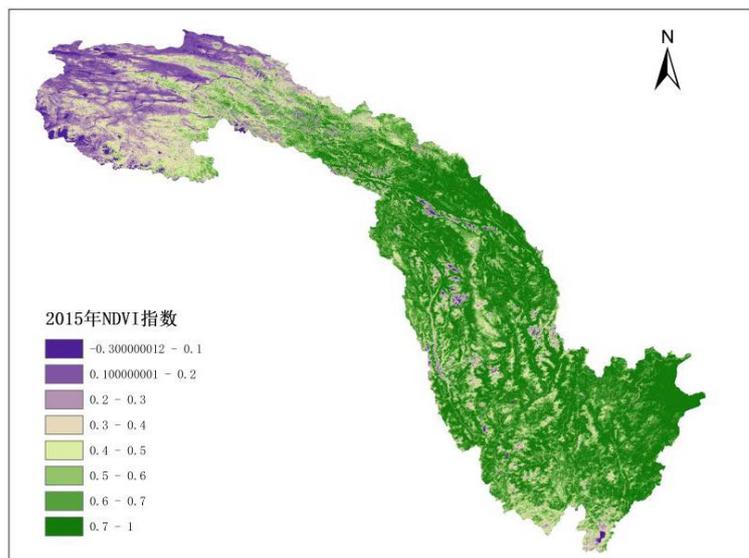
注：该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为 GS (2019) 1822 号的标准地图制作，底图无修改。

Figure 4. NDVI Index of Jinsha River Basin in 2010

图 4. 金沙江流域 2010 年 NDVI 指数

根据图 3 可以看出与 2001 年相比, 2005 年的 NDVI 图显示出一些变化。中部区域的植被覆盖有所增加, 而中下部区域则可能由于人类活动或自然因素的影响而减少。这种变化反映了该时期金沙江流域的生态环境状况对比 2001 年有所降低。

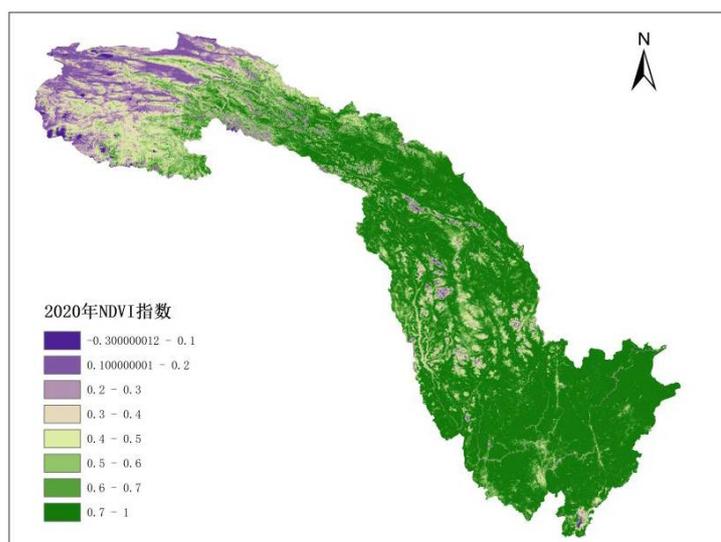
根据图 4 可以看出到了 2010 年, 金沙江流域的 NDVI 图表呈现出更为明显的变化趋势。中部区域一些原本植被覆盖稀疏的地方出现了植被增加的情况, 对比上一期植被覆盖情况得到了较为明显的改善。



注: 该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为 GS (2019) 1822 号的标准地图制作, 底图无修改。

Figure 5. NDVI Index of Jinsha River Basin in 2015

图 5. 金沙江流域 2015 年 NDVI 指数



注: 该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为 GS (2019) 1822 号的标准地图制作, 底图无修改。

Figure 6. NDVI Index of Jinsha River Basin in 2020

图 6. 金沙江流域 2020 年 NDVI 指数

根据图 5 可以看出 2015 年金沙江流域植被覆盖的变化。随着人类活动对自然环境的影响加剧,一些区域的植被覆盖状况出现了恶化;但同时,由于生态保护和恢复措施的实施,部分区域的植被得到了有效改善。

根据图 6 可以观察到金沙江流域的植被覆盖状况呈现出更为复杂的态势。一方面,由于城市的扩张一些区域的植被覆盖持续减少,另一方面,东南部区域通过有效的生态保护措施实现了植被的恢复和增长。

以上就是 2001 年至 2020 年金沙江流域植被覆盖的变化情况,具体的各类土地面积变化在第四章具体分析。

## 4.2. 空间分布特征

通过对比分析不同年份的植被覆盖空间分布图,我们发现:流域上游地区由于地形复杂、气候多变,植被覆盖度相对较低且变化较大;中下游地区由于地势相对平坦、气候温和湿润,植被覆盖度较高且相对稳定;特定区域(如自然保护区、退耕还林还草区域)的植被覆盖度显著高于周边地区,显示出生态保护政策对植被恢复的积极作用。

金沙江流域植被覆盖在时间和空间上均呈现出复杂的变化特征。这些变化不仅受到气候条件的制约,还受到人类活动的深刻影响。因此,在制定生态保护政策和进行流域管理时,需要充分考虑这些变化特征及其背后的驱动因素。

## 4.3. 植被覆盖驱动因素分析

本章旨在深入探讨金沙江流域植被覆盖变化的驱动因素,通过综合分析自然因素与人为因素的作用,揭示植被覆盖动态变化的内在机制。

### (1) 自然因素

气候变化是影响植被覆盖变化的重要自然因素之一。近年来,全球气候变暖趋势显著,金沙江流域也不例外。众多国内外学者已广泛利用 NDVI 数据,深入探究了植被覆盖的时空变化特征及其背后的驱动因素。其中,植被与气候之间的关系研究,对于人类应对未来气候变化的挑战以及完善生态系统功能具有至关重要的意义[7]。地表植被覆盖的变化与区域气候因子之间存在着紧密的关联性,特别是温度和降水因子,它们对植被覆盖的影响尤为显著[22]。植被覆盖变化对气候因子的响应,涉及多个生态系统的物理、化学和生物过程,因此需要从多个要素和多个过程的综合效应出发,进行全面而深入的研究[23]。

Zhang 等人借助 MODIS NDVI 数据,详细分析了 2000 年至 2018 年间三江源地区植被覆盖的时空变化特征及其驱动因素,并明确指出,气候变化是该地区植被变化的主要影响因素[24]。另一方面,向珈瑶等人也基于 MODIS 数据,对四川省的植被恢复成效及其影响因素进行了探索。他们的研究结果显示,四川省的植被恢复成效显著,而气温和降水对植被恢复的影响则相对微弱[25]。通过阅读相关学者的文章,总结流域内气温、降水等气候要素的长期变化趋势,我们发现气温的上升和降水格局的变化对植被生长周期、分布范围及生长状况产生了显著影响。气温升高可能延长植被的生长季,促进植被覆盖度的增加;而降水量的变化则直接影响植被的水分供应,进而影响其生长状况。

金沙江流域地形复杂多样,从高山峡谷到河谷平原,不同地形地貌对植被覆盖的影响显著。高山地区由于海拔高、气温低,植被类型以耐寒的针叶林、灌丛为主;而河谷平原地区则因地势低平、气候温暖湿润,植被覆盖度较高,以农田、草地及亚热带常绿阔叶林为主。此外,土壤条件也是影响植被覆盖的重要因素。

### (2) 人为因素

随着人类活动的加剧,金沙江流域的土地利用方式发生了显著变化。曹永香等人利用 NDVI 数据,深入分析了策勒绿洲—沙漠过渡区域的植被覆盖度动态变化,并探讨了其背后的驱动因素。他们的研究表明,人类活动在这一特定区域植被变化中扮演了主导角色[26]。金沙江流域植被覆盖变化的主要原因也是人类活动如农业扩张、城市化进程加快以及矿产资源开发等活动导致大量自然植被被砍伐或破坏,进而引起植被覆盖度的下降。通过对比 2005~2020 年的土地利用数据,我们发现农业用地和建设用地的增加是植被覆盖减少的主要原因。同时,退耕还林还草等生态恢复工程的实施也在一定程度上促进了植被覆盖度的增加。

**Table 1.** Land use change in Jinsha River basin from 2005 to 2020 (area unit: km<sup>2</sup>)

**表 1.** 2005 年~2020 年金沙江流域土地利用变化情况(面积单位: km<sup>2</sup>)

土地类型	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年
	面积	面积	面积	面积
农田	38617.94	39589.22	39503.44	42167.03
森林	163945.31	165330.81	166929.81	167757.56
灌木	5580.69	5875.12	5413.49	5251.89
草地	321649.38	318048.53	316251.99	311078.40
水体	3398.50	3539.96	3686.25	3658.15
冰雪	2854.45	3385.93	2786.34	2257.27
裸地	15494.42	15623.66	16758.09	19046.30
建筑	423.88	569.69	631.44	747.30
湿地	1.42	3.07	5.13	2.07

根据表 1 可以知道金沙江流域在 2005 年至 2020 年期间,包括农田、森林、灌木、草地、水体、冰雪、裸地、建筑和湿地的面积变化情况。这些变化为我们提供了金沙江流域土地利用动态的宝贵信息。农田面积在这段时间内有所增加,从 2005 年的 38617.94 km<sup>2</sup> 增加到 2020 年的 42167.03 km<sup>2</sup>。这表明在该时期内,金沙江流域的农田得到了有效的保护和开发,农业生产能力得到了提升。

森林的面积也呈现出增加的趋势,从 2005 年的 163945.31 km<sup>2</sup> 增加到 2020 年的 167757.56 km<sup>2</sup>。森林作为重要的自然资源,其面积的增加有助于改善生态环境,提高生物多样性,同时也能对气候调节和土壤保持产生积极影响。

然而,灌木和草地的面积却呈现出减少的趋势。灌木面积从 5580.69 km<sup>2</sup> 减少到 5251.89 km<sup>2</sup>,而草地面积则从 321649.38 km<sup>2</sup> 减少到 311078.40 km<sup>2</sup>。这种减少反映了人类活动对自然环境的干扰和破坏,也可能与气候变化等自然因素有关。

此外,水体、冰雪、裸地、建筑和湿地的面积也发生了一定的变化。水体的面积有所增加,反映了水资源管理和保护工作的成效。而冰雪面积的减少可能与全球气候变暖有关。裸地面积的增加意味着土地退化和荒漠化的加剧。建筑面积的增加则反映了城市化进程的加速和人口增长的压力。湿地面积的变化波动较大可能受到多种因素的影响,包括自然因素和人类活动。

**Table 2.** Change speed of land use area in Jinsha River basin from 2005 to 2020**表 2.** 2005~2020 年金沙江流域土地利用面积变化速度

土地利用类型	动态度(%)			
	2005~2010	2010~2015	2015~2020	2005~2020
农田	0.50	-0.04	1.35	1.84
森林	0.17	0.19	0.10	0.10
灌木	1.06	-1.57	-0.60	-1.18
草地	-0.22	-0.11	-0.33	-0.66
水体	0.83	0.83	-0.15	1.53
冰雪	3.72	-3.54	-3.80	-4.18
裸地	0.17	1.45	2.73	4.58
建筑	6.88	2.17	3.67	15.26
湿地	23.26	13.45	-11.92	9.24

根据表 2 可以得出从 2005 年至 2020 年,金沙江流域的土地利用类型发生了显著的变化。农田、水体、裸地和建筑用地的动态度百分比为正,表明这些土地利用类型在增加;而森林、灌木、草地、冰雪和湿地的动态度百分比为负,表明这些土地利用类型在减少。我们详细来看农田面积在 2005 年至 2010 年间有所增加,但之后呈现波动增长趋势。总体来看,农田面积在 2005 年至 2020 年间增加了 1.84%。森林面积在三个时间段内均呈现微小波动,但总体趋势是略有增加。然而,从 2005 年至 2020 年的总动态度来看,森林面积仅增加了 0.10%,表明其变化并不显著。灌木面积在 2005 年至 2010 年间有所增加,但之后呈现显著减少趋势。总体来看,灌木面积在 2005 年至 2020 年间减少了 1.18%。草地面积在三个时间段内均呈现减少趋势,但减少速度逐渐放缓。总体来看,草地面积在 2005 年至 2020 年间减少了 0.33%。水体面积在 2005 年至 2015 年间呈现显著增加趋势,但在 2015 年至 2020 年间略有减少。然而,从总体来看,水体面积在 2005 年至 2020 年间增加了 1.53%。冰雪面积在三个时间段内均呈现显著减少趋势。总体来看,冰雪面积在 2005 年至 2020 年间减少了 4.18%。说明在这 15 年间由于气候变化,人类的开发等原因导致冰雪融化,面积减少。裸地面积在三个时间段内均呈现增加趋势,且增加速度逐渐加快。裸地面积在 2005 年至 2020 年间增加了 4.58%。植被的退化导致了裸地面积越发增多。建筑用地面积在三个时间段内均呈现显著增加趋势。总体来看,建筑用地面积在 2005 年至 2020 年间增加了 15.26%,是增长最快的土地利用类型。说明这 15 年中人类对城市的扩张较快,而城市化也是导致植被覆盖率降低最显著的原因之一。湿地面积在 2005 年至 2015 年间显著增加,但在 2015 年至 2020 年间大幅减少。然而,从总体上来看,湿地面积在 2005 年至 2020 年间仍增加了 9.24%。证明在金沙江流域进行生态保护区的建立一定程度上保护了生态环境,增加了湿地面积。

**Table 3.** Comprehensive dynamic attitude of land use in Jinsha River basin from 2005 to 2020**表 3.** 2005~2020 年金沙江流域土地利用综合动态度

综合动态度	动态度(%)			
	2005~2010	2010~2015	2015~2020	2005~2020
	0.13	0.11	0.21	0.42

根据表 3 (2005~2020 年金沙江流域土地利用综合动态度)可以得出以下结论:金沙江流域在 2005 年

至 2020 年间的土地利用综合动态度呈现出一定的波动。2005~2010 年的动态度为 0.13%，2010~2015 年下降至 0.11%，然后在 2015~2020 年显著上升至 0.21%。从整体 15 年来看，2005~2020 年的综合动态度为 0.42%，表明在这一时间段内，金沙江流域的土地利用发生了较为显著的变化，变化趋势明显，结合前文植被归一化指数的增长来看，人类活动对土地利用的影响是导致金沙江流域植被覆盖变化的主要原因。

根据时间段分析结果如下：

① 2005~2010 年：这一时期的动态度为 0.13%，相对较低。意味着在这一时间段，金沙江流域的土地利用变化相对平稳，没有发生大规模的土地利用类型转换。

② 2010~2015 年：动态度下降至 0.11%，表明土地利用变化的速度有所放缓。这与当时的政策、经济和社会发展状况有关，导致土地利用的转换活动减少。

③ 2015~2020 年：动态度显著上升至 0.21%，是四个时间段中最高的。这意味着在这一时间段，金沙江流域经历了较为显著的土地利用变化。这种变化受到城市化进程加快、农业结构调整、生态环境保护等因素的影响。

④ 2005~2020 年：综合动态度为 0.42%，表明在整个研究期间，金沙江流域的土地利用发生了较为明显的变化。这种变化涉及多种土地利用类型的转换，在整个研究范围期间出现过农田转为建设用地、森林转为草地等情况。

政策因素在植被覆盖变化中扮演着重要角色。近年来，中国政府高度重视生态环境保护工作，出台了一系列旨在促进植被恢复和生态保护的政策措施。在 2005 年由云南省第十届人民代表大会常务委员会第 16 次会议颁布的《云南省三江并流世界自然遗产地保护条例》就对金沙江流域植被保持以及生态环境的保护起到很大的作用。而且该条例还一直在更新。退耕还林还草工程、天然林保护工程等国家政策的实施也有效遏制了植被破坏的趋势，促进了植被覆盖度的恢复和增长。流域内的地方政府也根据当地实际情况制定了相应的生态保护政策，进一步推动了植被覆盖的改善。

## 5. 结论

本文通过对金沙江流域植被覆盖时空变化特征的深入研究，得出以下主要结论：金沙江流域植被覆盖时空变化特征明显，在时间序列上呈现出显著的年际变化，年际变化受到气候变化、土地利用变化及政策实施等多重因素的影响。金沙江流域植被覆盖的变化是自然因素与人为因素共同作用的结果。自然因素如气候变化和地形地貌为植被覆盖提供了基础条件；而人为因素如土地利用变化和政策实施则通过改变植被的生长环境和生长条件来影响植被覆盖的变化。空间上，不同区域因地形地貌、气候条件和人类活动强度的差异，植被覆盖变化表现出明显的区域异质性。金沙江流域的土地利用类型在 2005 年至 2020 年间发生了显著变化。农田、水体、裸地和建筑用地面积增加，而森林、灌木、草地、冰雪和湿地面积减少。而在 2005 年至 2020 年间的土地利用综合动态度呈现出波动上升的趋势。虽然中间有所减少，但从最终结果来看总体还是增加的。土地利用变化是导致植被覆盖减少的主要原因，而政策实施则在一定程度上促进了植被覆盖的恢复和增长。气候变化可能加剧土地利用变化对植被覆盖的负面影响；而政策实施则可以在一定程度上缓解这种负面影响并促进植被覆盖的恢复和增长。植被覆盖的时空变化对金沙江流域的生态系统服务功能产生了显著影响。植被覆盖度的增加有助于提升区域水土保持能力、增强碳汇功能和保护生物多样性。然而，植被覆盖的减少则可能加剧水土流失、降低生态系统稳定性，并对当地社区生计、农业生产和水资源管理等产生不利影响。

## 基金项目

云南省科技厅项目(202101BA070001-098)。

## 参考文献

- [1] 周家骥. 以金沙江干流水电开发促进金沙江流域干热河谷陆生生态修复[J]. 西北水电, 2011(3): 1-3.
- [2] 刘邵权, 陈治谏, 陈国阶, 等. 金沙江流域水土流失现状与河道泥沙分析[J]. 长江流域资源与环境, 1999, 8(4): 423-428.
- [3] 易浪, 孙颖, 尹少华, 等. 2000-2019 年长江流域植被覆盖时空演化及其驱动因素[J]. 生态学报, 2023, 43(2): 798-811.
- [4] 周德刚, 黄荣辉. 黄河源区径流减少的原因探讨[J]. 气候与环境研究, 2006, 11(3): 302-309.
- [5] 王永立, 范广洲, 周定文, 等. 我国东部地区 NDVI 与气温、降水的关系研究[J]. 热带气象学报 2009, 25(6): 725-732.
- [6] 许炯心. 人类活动和降水变化对嘉陵江流域侵蚀产沙的影响[J]. 地理科学, 2006, 26(4): 432-437.
- [7] 杨雪梅, 杨太保, 刘海猛, 等. 气候变暖背景下近 30a 北半球植被变化研究综述[J]. 干旱区研究, 2016, 33(2): 379-391.
- [8] 刘海, 黄跃飞, 郑粮. 气候与人类活动对丹江口水源区植被覆盖变化的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(6): 97-105.
- [9] 王春雅, 王金牛, 崔霞, 等. 藏东南三江并流核心区植被时空动态变化及其气候驱动力分析[J]. 地理研究, 2021, 40(11): 3191-3207.
- [10] 郭永强, 王乃江, 褚晓升, 等. 基于 Google Earth Engine 分析黄土高原植被覆盖变化及原因[J]. 中国环境科学, 2019, 39(11): 4804-4811.
- [11] 邓晨晖, 白红英, 高山, 等. 秦岭植被覆盖时空变化及其对气候变化与人类活动的双重响应[J]. 自然资源学报, 2018, 33(3): 425-438.
- [12] 易浪, 任志远, 张翀, 等. 黄土高原植被覆盖变化与气候和人类活动的关系[J]. 资源科学, 2014, 36(1): 166-174.
- [13] 马琳雅, 崔霞, 冯琦胜, 等. 2001-2011 年甘南草地植被覆盖度动态变化分析[J]. 草业学报, 2014, 23(4): 1-9.
- [14] 杨强, 王婷婷, 陈昊, 等. 基于 MODIS EVI 数据的锡林郭勒盟植被覆盖度变化特征[J]. 农业工程学报, 2015, 31(22): 191-198.
- [15] 孙红雨, 王长耀, 牛铮, 等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系——基于 NOAA 时间序列数据分析[J]. 遥感学报, 1998(3): 204-210.
- [16] Hao, F., Zhang, X., Ouyang, W., Skidmore, A.K. and Toxopeus, A.G. (2012) Vegetation NDVI Linked to Temperature and Precipitation in the Upper Catchments of Yellow River. *Environmental Modeling & Assessment*, 17, 389-398. <https://doi.org/10.1007/s10666-011-9297-8>
- [17] 金凯, 王飞, 韩剑桥, 等. 1982-2015 年中国气候变化和人类活动对植被 NDVI 变化的影响[J]. 地理学报, 2020, 75(5): 961-974.
- [18] 陈晨, 王义民, 黎云云, 等. 黄河流域 1982-2015 年不同气候区植被时空变化特征及其影响因素[J]. 长江科学院院报, 2022, 39(2): 56-62.
- [19] 张勃, 王东, 王桂钢, 等. 西南地区近 14a 植被覆盖变化及其与气候因子的关系[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(6): 956-964.
- [20] 刘方炎, 李昆, 孙永玉, 等. 横断山区干热河谷气候及其对植被恢复的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(12): 1386-1391.
- [21] 山发梅, 才文求藏, 杨雪. 基于 MODIS 影像与 NDVI 数据的玉树地区土地荒漠化面积变化趋势研究[J]. 青海草业, 2022, 31(3): 21-25.
- [22] 焦珂伟, 高江波, 吴绍洪, 等. 植被活动对气候变化的响应过程研究进展[J]. 生态学报, 2018, 38(6): 2229-2238.
- [23] Mahlstein, I., Daniel, J.S. and Solomon, S. (2013) Pace of Shifts in Climate Regions Increases with Global Temperature. *Nature Climate Change*, 3, 739-743. <https://doi.org/10.1038/nclimate1876>
- [24] Zhang, X. and Jin, X. (2021) Vegetation Dynamics and Responses to Climate Change and Anthropogenic Activities in the Three-River Headwaters Region, China. *Ecological Indicators*, 131, Article 108223. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108223>
- [25] 向珈瑶, 彭文甫, 陶帅, 等. 2000-2019 年四川省植被恢复成效与影响因素[J]. 生态学报, 2023, 43(4): 1596-1609.
- [26] 曹永香, 毛东雷, 薛杰, 等. 绿洲-沙漠过渡带植被覆盖动态变化及其驱动因素——以新疆策勒为例[J]. 干旱区研究, 2022, 39(2): 510-521.