

DOI: 10.19741/j.issn.1673-4831.2022.0743

白玛曲西, 普布多吉, 卓永, 等. 基于 MODIS 的横断山区植被时空演变特征及地形效应分析[J]. 生态与农村环境学报, 2023, 39(9): 1158–1169.
BAI Ma-qu-xi, PU Bu-duo-ji, ZHUO Yong, et al. Analysis of Temporal and Spatial Evolution Characteristics and Terrain Effect of Vegetation in Hengduan Mountains Region Based on MODIS[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2023, 39(9): 1158–1169.

基于 MODIS 的横断山区植被时空演变特征及地形效应分析

白玛曲西¹, 普布多吉^{2①}, 卓永^{1②}, 次珍¹, 边琼¹, 黄鹏¹, 西绕卓玛¹, 玉洛¹ (1. 西藏昌都市气象台, 西藏 昌都 854000; 2. 西藏昌都市丁青县气象局, 西藏 昌都 855700)

摘要: 合理地评价植被变化的地形效应, 可以为横断山区生态稳定和可持续发展、生态保护与生态建设效益评估提供科学依据。基于 MODIS 植被遥感产品和数字高程模型 (DEM) 资料, 采用 Sen+M-K 趋势分析并结合地形差异修正方法, 分析了 2000—2020 年横断山区植被与地形因子的变化关系。结果表明: (1) 近 21 年横断山区植被归一化指数 (NDVI) 呈南高北低、低海拔地区大于高海拔山脉地区的分布格局, 随海拔变化规律性显著, 存在明显的岭谷差异。64.13% 的区域植被稳定, 极显著增加和显著增加区域面积占比分别为 12.54% 和 11.77%, 平均年际变化速率为 $0.013 (10 \text{ a})^{-1}$ 。(2) 横断山区植被 NDVI 分布和变化存在明显的地形效应, 植被 NDVI 在海拔小于 3 845 m 的区域小幅波动, 超过 3 845 m 后呈阶梯式减小; 不同坡向的植被 NDVI 差异较小, 但北坡大于南坡, 西坡大于东坡, 西北坡最大; 植被 NDVI 在 $0 \sim 38.9^\circ$ 随坡度增加呈阶梯式增大, 而坡度高于 38.9° 后急剧减小。(3) 在海拔小于 1 919 m、坡度小于 3.8° 的平地区域植被 NDVI 年际增加速率较小, 显著退化分布明显; 在海拔为 1 919 ~ 3 162 m, 坡度为 $3.8^\circ \sim 25.1^\circ$, 坡向为西北坡、西坡和北坡的区域植被 NDVI 以稳定和增加为主, 年际变化速率高; 在海拔为 2 739 ~ 3 534 m, 坡度为 $22.2^\circ \sim 28.0^\circ$, 坡向为东坡和西坡的过渡区域植被 NDVI 易出现波动, 是生态治理中需着重注意和加强的区域。

关键词: 横断山区; 归一化植被指数; 气候变化; 地形效应; 时空演变

中图分类号: X171.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4831(2023)09-1158-12

Analysis of Temporal and Spatial Evolution Characteristics and Terrain Effect of Vegetation in Hengduan Mountains Region Based on MODIS. BAI Ma-qu-xi¹, PU Bu-duo-ji^{2①}, ZHUO Yong^{1②}, CI Zhen¹, BIAN Qiong¹, HUANG Peng¹, XI Rao-zhuo-ma¹, YU Luo¹ (1. Chamdo Meteorological Observatory of Tibet, Chamdo 854000, China; 2. Dingqing County Meteorological Bureau of Chamdo of Tibet, Chamdo 855700, China)

Abstract: Proper evaluation of the topographic effects of vegetation change could provide scientific basis for the benefit assessment of ecological stability sustainable development, ecological protection and ecological construction in the Hengduan Mountains Region. Based on MODIS vegetation remote sensing products and DEM data, Sen+M-K trend analysis was used combined with the terrain difference correction method to analyze the relationship between vegetation and terrain factors in the Hengduan Mountains Region from 2000 to 2020. The results show that: (1) Within the 21 years, the distribution pattern of NDVI was higher in the south and lower in the north, higher in low altitudes and lower in high altitudes. NDVI varies significantly with elevation change, and there are obvious differences between ridge and valley. The area of vegetation in stable accounted for 64.13%, and the areas with extremely significant increase and significant increase accounted for 12.54% and 11.77%, respectively. The average annual change rate was $0.013 (10 \text{ a})^{-1}$. (2) The distribution and change of NDVI have obvious topographic effects in Hengduan Mountains Region. NDVI fluctuates slightly in the area with elevation less than 3 845 m, and decreases in a stepwise manner above 3 845 m. Although the difference of NDVI is small in different slope directions, the north slope is greater than the south slope, the west slope is greater than the east slope, and the northwest slope is the largest. NDVI increases in steps with the slope increasing from 0 to 38.9° , but decreases sharply when the slope is higher than 38.9° . (3) In the flat land with the elevation less than 1 919 m and the slope less

收稿日期: 2022-07-17

基金项目: 西藏自治区自然科学基金 (XZ202101ZR0041G)

① 通信作者 E-mail: 2480250226@qq.com

② 共同通信作者 E-mail: 630651365@qq.com

than 3.8°, the interannual increase rate of NDVI is small, and the significant degradation distribution is obvious. At elevations of 1 919–3 162 m, slope of 3.8°–25.1°, and aspects of northwest, west and north slope, NDVI is mainly stable and increasing, with high interannual variation rate. The vegetation transition area with elevation of 2 739–3 534 m, slope of 22.2°–28.0°, and slope aspect of east and west, where NDVI is prone to fluctuation, so it is necessary to pay attention and to strengthen ecological governance.

Key words: Hengduan Mountains; NDVI; climate change; terrain effect; spatiotemporal evolution

植被作为全球陆地生态系统最重要的组成部分,是地理环境的关键指示因子,它通过调节地表能量收支平衡、水循环和化学循环等,可以较好地反映当地的水、热和土壤等生态环境质量,因此被广泛应用于生态环境评价中^[1-3]。遥感影像由于其具有空间尺度大、时间序列长和间隔周期短等特点,已成为监测区域和大尺度植被变化的主要数据来源^[1,4],其中,归一化植被指数(NDVI)耦合了地物的红外和红光波段光谱信息,是表征植被生长状态和地表绿度的最佳指标之一^[5]。近年来,有关植被 NDVI 时空变化及其对气候变化和人类活动响应特征的研究已取得长足进展。

地形是决定植被生长环境的主导因素之一,其中,海拔主要影响土壤的垂直地带性,坡度影响地表径流,坡向影响日照时长、湿度和温度,各地形因子之间的相互作用通过控制水热格局进而影响植被生长分布^[2,4,6]。已有研究表明,地形因子对植被生长分布的影响具有复杂性,不同地区影响植被的关键地形因子不尽相同^[7-8]。在中国汉江流域,海拔高度和坡度是影响植被分布和长势的主要因素^[9];在黔桂喀斯特山区,植被 NDVI 受海拔高度影响较大,而随坡度和坡向的变化并不明显^[6];而在伊拉克库尔德斯坦地区植被分布格局主要受海拔高度和坡向的影响^[10]。除此之外,同一地形因子对植被生长分布的影响在不同地区也各不相同,如在西北地区砒砂岩区,海拔小于 1 000 m 的区域植被最茂盛^[2];而在西南地区重庆,海拔大于 1 200 m 的地区植被稳定增加^[4];在西南地区干热河谷,几乎都为亚热带干热河谷稀树灌丛带,坡度影响很微弱^[11];而在美国俄勒冈州东南部,坡度是影响植被多样性的关键因子^[12];在内蒙古大青山自然保护区,由于阴坡、半阴坡日照时数较短,蒸发过程相对弱,土壤水分和养分条件较好,发育有较大面积的白桦、蒙古栎等乔木林及虎榛子等灌丛,植被覆盖度较高^[13];而在新墨西哥北部的雷东多山,由于阳坡日照时数长,吸收的热量多,有利于促进植被生长,因此,阳坡森林覆盖度高于阴坡^[14]。

横断山区横跨中国西南一、二级地形阶梯,是

我国西部的地形急变带^[15],其地质、地貌、气候和土壤极其复杂,山川河谷众多,植被生长所需的光照、水分和土壤等分布各异,生态环境异质性较强,植被受地形因子的影响尤为突出^[16-17],研究横断山区植被时空演变特征及地形效应可以很好地揭示其地域分布规律。然而,目前的研究成果多集中在 NDVI 时空变化与气候、人类活动等关系的探讨上,且涉及横断山区的研究所使用的植被指数分辨率大多较粗,1.8 km 的产品很难准确描述横断山区地形起伏大的复杂山地环境。部分学者的研究时间序列相对较短。此外,结合地形效应定量分析横断山区植被演变特征的研究尚不多见,运用较高分辨率的 NDVI 并在长时序上考虑不同地形绝对面积差异来评价植被变化趋势的研究更是非常有限。

因此,该文基于 250 m 的 MODIS 植被指数遥感产品和 90 m 的数字高程模型(DEM)资料,采用 Sen+M-K 趋势分析并结合地形差异修正方法,研究 2000—2020 年横断山区植被与地形因子的变化关系,揭示横断山区植被变化的地形差异和空间演变规律,以期更加合理地评价植被变化的地形效应,为横断山区生态稳定和可持续发展、生态保护与生态建设效益评估提供科学依据。

1 研究区、数据与方法

1.1 研究区概况

横断山区(21.14° N ~ 34.32° N, 93.59° E ~ 104.43° E)西邻青藏高原,东连四川盆地,是中国第一阶梯与第二阶梯的分界地带,是东亚、南亚和青藏高原 3 大地理区域的交汇处,也是我国长江上游重要的生态屏障区^[16-17]。横断山区海拔约为 400 ~ 7 500 m,受亚欧板块、印度板块与太平洋板块的挤压作用,地形起伏较大,81.5%的区域相对高差大于 1 000 m,地貌多高山深谷^[17]。整体上,横断山区可划分为七山夹六江,岷江、大渡河、雅砻江、金沙江、澜沧江和怒江由东至西纵贯其间,雪宝顶、四姑娘山、贡嘎山、格聂山、雀儿山、白马雪山和梅里雪山屹立其间,是世界上罕见的高山地貌及其演化的代表地^[17]。由于横断山区地形复杂,山岭与河谷间气

候垂直分带性也很明显,集中了北半球亚热带、中亚热带、北亚热带和暖温带等多种气候类型^[18]。横断山区植被类型也多种多样,植被垂直地带性显著,从高到低依次为冰雪带、草地、草甸、灌木、针叶

林、阔叶林和耕地(图 1),因此其也被认为是中国乃至全球山地垂直带谱最大、最复杂的区域之一^[19],是我国中西部地区重要的生态屏障和生态调节区。

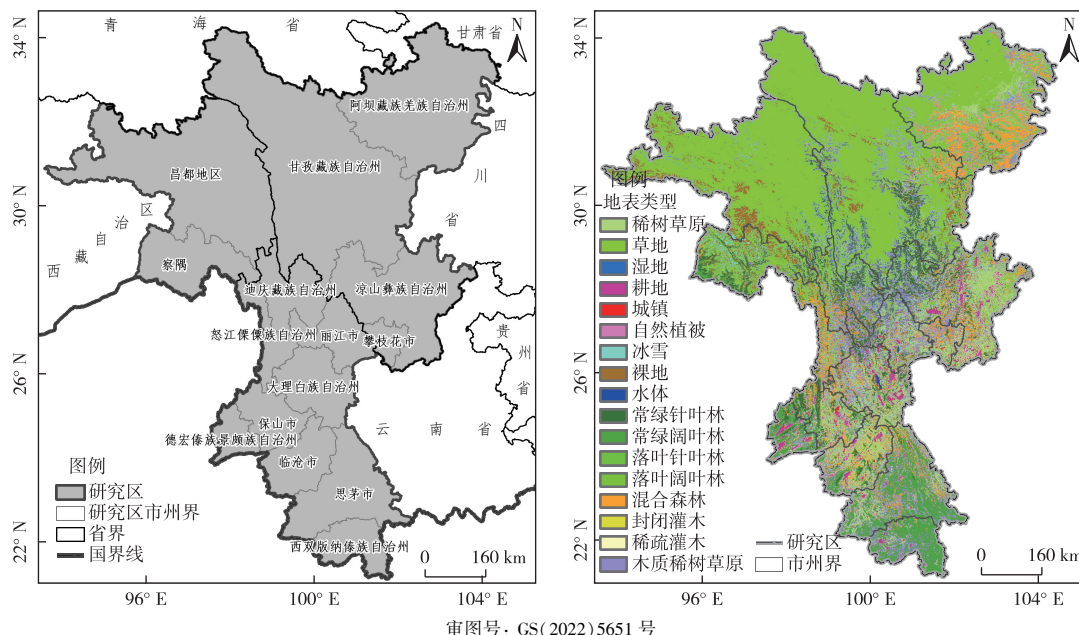


图 1 横断山区地理位置和国际地圈生物圈计划 (IGBP) 土地覆盖类型分布

Fig. 1 Distribution of location and IGBP land cover type in the Hengduan Mountains Region

1.2 研究数据

1.2.1 NDVI 数据

NDVI 数据选用 2000—2020 年生长季 (5—9 月) 16 d 合成的 MODIS 植被指数产品 MOD13Q1-NDVI, 轨道号为 H26V05、H26V06 和 H27V06, 空间分辨率为 250 m。该数据已经过表面的双向反射率大气校正, 去除水、云、气溶胶和云阴影的影响。收集了横断山区共 220 个时相的影像数据, 对数据进行拼接、重投影和格式转换等预处理。为了更好地反映年植被覆盖情况和消除数据中的误差干扰, 将每年几期影像数据按最大值合成法 (MVC) 合成年数据, 最后掩膜得到研究区 21 年来逐年 NDVI 影像。数据可从美国 LPDAAC (Land Process Distributed Active Archive Center) 网站 (<http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>) 免费获得。

1.2.2 DEM 数据

DEM 采用 SRTM (shuttle radar topography mission) 数据, 为 V. 003 版本, 来源于美国地质勘探局 (USGS; <https://lpdaac.usgs.gov/products/srtmgl1v003/>), 空间分辨率为 90 m。利用 DEM 数据研究不同地形因子与 NDVI 空间分布及变化特征之间的关系, 为进行叠加分析, 将其重采样和重投影

成与 NDVI 数据一致的空间分辨率和投影, 并利用 ArcGIS 软件对 DEM 提取地形因子。由于自然界中植被的分布并不完全在等间距的高程和坡度中均匀分布, 且不同植被类型也难以严格按照等间距的高程和坡度分布, 加之自然间断点分级法是基于数据中固有的自然分组, 对分类间隔加以识别, 可对相似值进行最恰当的分组, 并可使各个类之间的差异最大化。因此, 该文通过自然间断点法^[10,20]对海拔、坡向和坡度 3 种地形因子进行重分类, 横断山区重分类后的海拔、坡向和坡度分布见图 2。

1.3 研究方法

1.3.1 Sen+M-K 趋势分析

对 NDVI 一般采用回归分析或 Mann-Kendall (M-K) 趋势分析, 回归分析要求时间序列符合正态分布, 且结果容易受噪声干扰。相比之下, Theil-Sen Median (Sen) 趋势分析是计算序列中的中位数, 可以用于很好地减少噪声干扰, 是一种稳健的非参数统计的趋势计算方法^[21]。但该趋势分析本身不能实现序列趋势的显著性判断。这两种方法结合使用在时间序列趋势分析中具有很大优势, 不仅可以用于有效地增强抗噪性, 而且可以用于更准确地检验时间序列趋势及其显著性, 计算公式详见文献

[22]。笔者研究中,当检验中 Z 的绝对值大于 1.65、1.96 和 2.58 时,表示趋势通过的信度分别为 90%、95% 和 99%。根据年际变化速率及其显著性,参照前人研究结果^[23-25],将植被 NDVI 变化趋势划

分为 5 类:极显著减少 ($\text{Sen} < 0, \alpha \geq 99\%$)、显著减少 ($\text{Sen} < 0, 95\% \leq \alpha < 99\%$)、维持稳定(不显著增加与不显著减少) ($\alpha < 95\%$)、极显著增加 ($\text{Sen} > 0, \alpha \geq 99\%$) 和显著增加 ($\text{Sen} > 0, 95\% \leq \alpha < 99\%$)。

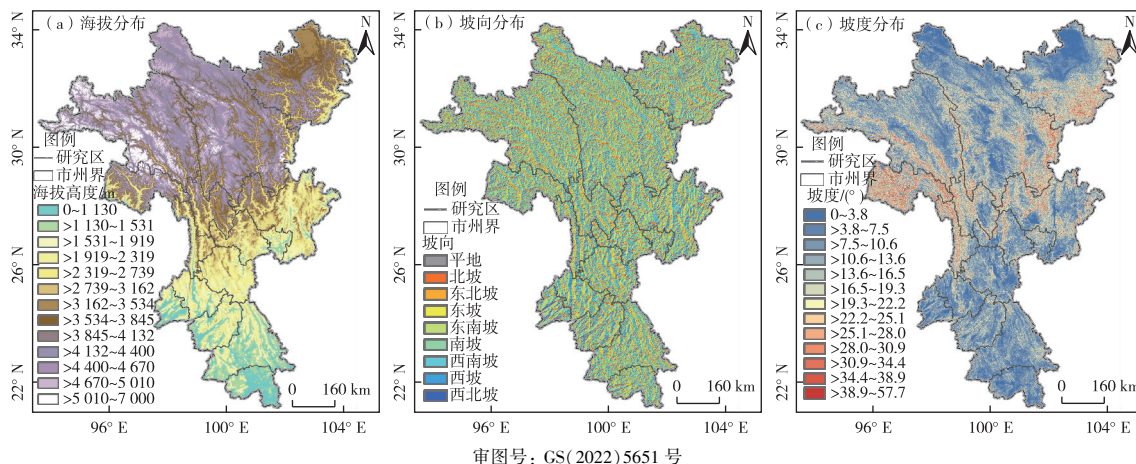


图2 横断山区海拔、坡向与坡度分布

Fig. 2 Spatial distribution of elevation, aspect and slope in the Hengduan Mountains Region

1.3.2 地形差异修正

植被变化随地形的不同而呈现不同的变化特征。然而,在评价植被变化特征时,往往会出现某变化类型面积在某特定地形区的面积虽小,但相比于该变化类型在研究区所占面积比例却较大,从而影响评价的合理性^[4,26]。因此,为了明确特定地形因子对植被变化分布的影响,需要消除地形因子绝对面积差异的干扰,其计算公式为

$$K = (S_{ie}/S_e)/(S_i/S) \quad (1)$$

式(1)中, S_{ie} 为 i 变化类型在 e 地形特定条件下的面积, m^2 ; S_i 为 i 变化类型总面积, m^2 ; S_e 为 e 地形总面积, m^2 ; S 为研究区总面积, m^2 ; S_{ie}/S_e 为 e 地形下 i 变化类型面积比; S_i/S 为研究区 i 变化类型面积比。 $K > 1$, 表示 i 变化类型在 e 地形呈优势分布; $K = 1$, 表示 i 变化类型在 e 地形分布平稳; $K < 1$, 表示 i 变化类型在 e 地形呈非优势分布。

2 结果与分析

2.1 NDVI 时空分布及演变

2000—2020 年横断山区植被 NDVI 分布区域差异明显,突出表现为南高北低、低海拔地区大于高海拔山脉地区的特征,随海拔变化规律性显著,呈明显的岭谷差异。雪宝顶、四姑娘山、贡嘎山、格聂山、雀儿山、白马雪山和梅里雪山高大山脉是植被 NDVI 低值区,均值不足 0.3,部分地区甚至小于 0.1,而横断山区中南部的西双版纳、恩茅、临沧、保

山、大理、丽江、攀枝花、凉山、迪庆,山区西北部的阿坝等地区植被 NDVI 较高,均超过 0.7,部分地区甚至超过 0.9[图 3(a)]。这是由于横断山区南部受海洋季风气候的影响较为明显,多阔叶林^[19],因此 NDVI 值较高;北部大陆性气候较强,多草地和针叶林^[19],NDVI 值相对较低;而中部除受季风气候的影响外,同时还因地形作用受焚风效应和山谷风的影响^[19],多干热河谷稀树灌丛和荒漠裸地,因此 NDVI 低。此外,横断山区纵向的高山峡谷区特殊的地形条件和季风运动产生的“水汽通道”作用导致水分、热量沿河谷呈带状分布也是重要原因^[27]。总体上,2000—2020 年横断山区 NDVI 呈波动增加趋势,年际变化速率为 $0.013 (10 \text{ a})^{-1} (P < 0.1)$ [图 3(b)],说明横断山区植被整体呈改善趋势,但仍较为脆弱,易受气候等因素的扰动,其中,2014 年 NDVI 显著降低与受厄尔尼诺影响导致的横断山区大范围干旱密切相关^[28]。

图 4 和表 1 显示,横断山区 64.13% 的区域植被维持稳定,极显著增加和显著增加区域面积占比分别为 12.54% 和 11.77%,表明近 21 年来横断山区植被 NDVI 变化以稳定和增加类型为主,其中,思茅市植被 NDVI 增加速率最快,平均增加速率为 $24.92 \times 10^{-4} \text{ a}^{-1}$,其后依次是凉山州、丽江市、临沧市、攀枝花市和怒江市,植被 NDVI 平均增加速率均超过 $20.00 \times 10^{-4} \text{ a}^{-1}$ 。凉山州东部和西南部、丽江市中部、甘孜州北部以及横断山区南部局部地区植被

NDVI 增加趋势最为明显,年际增加速率超过 $50.00 \times 10^{-4} \text{ a}^{-1}$;而横断山区北部、中部的局部地区植被 NDVI 呈减少趋势,尤其是迪庆、大理等地区植被 NDVI 减少区域面积占比超过 2%,其中,甘孜北部

局地、大理洱海及周边、凉山中部,保山中部局地等地区植被 NDVI 呈显著减少,减少速率超过 $100.00 \times 10^{-4} \text{ a}^{-1}$ 。

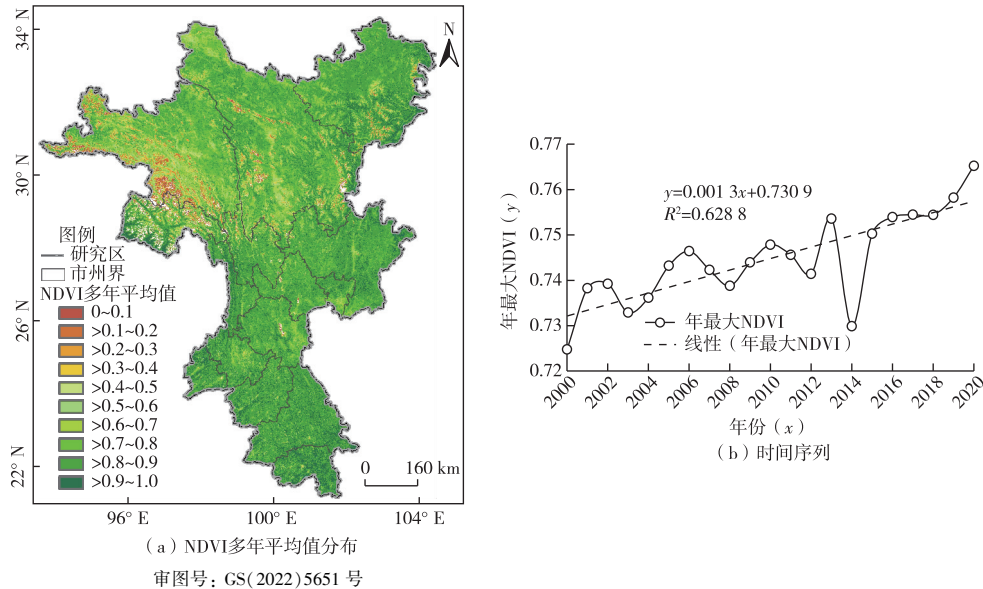


图 3 2000—2020 年横断山区植被 NDVI 分布与年际变化

Fig. 3 Spatial distribution and interannual variation of annual maximum NDVI in the Hengduan Mountains Region from 2000 to 2020

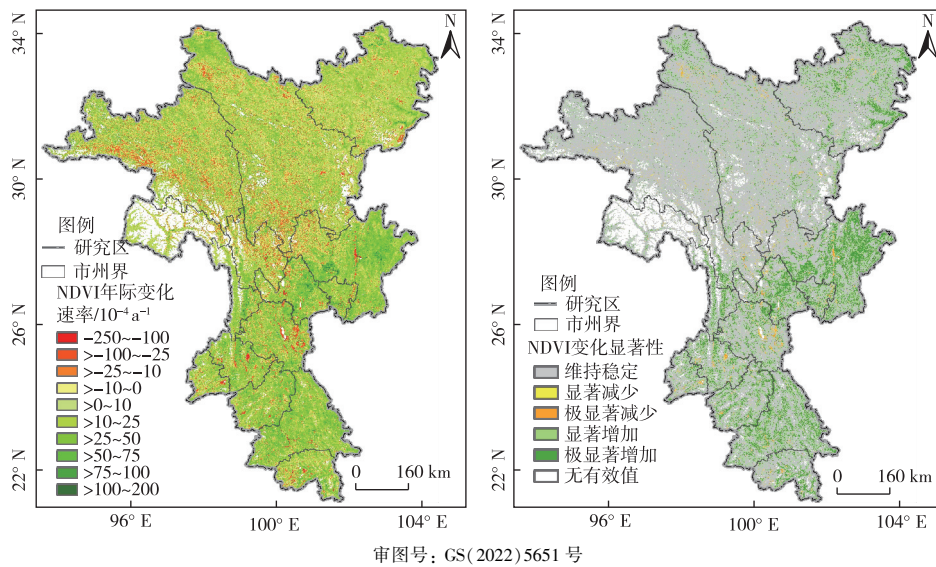


图 4 2000—2020 年横断山区植被 NDVI 变化趋势及其显著性检验

Fig. 4 Variation trend and significance test of annual maximum NDVI in the Hengduan Mountains Region from 2000 to 2020

2.2 NDVI 地形效应

受水热条件差异的影响,横断山区植被 NDVI 在不同海拔差异明显。海拔小于 3 845 m 时,植被 NDVI 在 0.82~0.84 之间小幅波动,其中,海拔 0~

1 130 m 地区植被 NDVI 最大,达 0.84。海拔超过 3 845 m 后,植被 NDVI 呈阶梯式减小,其中,海拔 5 010 m 以上地区植被 NDVI 最小,不足 0.25 (图 5)。由 2000—2020 年横断山区植被 NDVI 变化速

率的海拔分异(图 5)可以看出,横断山区不同海拔梯度植被 NDVI 年际变化速率均呈增加趋势,其中,小于 2 739 m 高程带 NDVI 年际增加速率较快,均超过 $18\times10^{-4}\text{ a}^{-1}$; $>2\,739\sim4\,132\text{ m}$ 高程带 NDVI 年际变化速率随海拔上升呈阶梯式减小,从 $16.60\times10^{-4}\text{ a}^{-1}$ 减至 $6.77\times10^{-4}\text{ a}^{-1}$; $>4\,132\text{ m}$ 高程带 NDVI 年际变化速率随海拔上升呈阶梯式增加,从 $6.77\times10^{-4}\text{ a}^{-1}$ 增至 $18.01\times10^{-4}\text{ a}^{-1}$ 。

表 1 横断山区植被 NDVI 年际变化速率及显著性检验统计
Table 1 Interannual variation rate and significance test statistics of NDVI in Hengduan Mountains Region

地域	平均年际变化速率/ (10^{-4} a^{-1})	面积占比/%					
		维持稳定	显著增加	极显著增加	显著减少	极显著减少	无有效值
察隅	8.26	36.51	2.88	1.23	0.51	0.14	58.72
昌都	8.89	82.01	5.12	1.62	1.19	0.35	9.70
阿坝	11.60	73.44	12.69	10.80	0.95	0.36	1.75
凉山	22.65	56.76	15.23	25.26	1.02	0.78	0.94
迪庆	6.45	72.24	5.74	5.33	2.12	0.99	13.59
攀枝花	21.26	60.13	16.95	19.85	1.49	1.39	0.19
丽江	22.00	59.19	14.33	20.88	1.52	1.22	2.87
大理	15.58	69.97	12.54	12.04	1.98	1.92	1.55
怒江	20.06	51.56	10.96	11.92	0.43	0.24	24.89
保山	18.21	62.71	14.50	14.61	1.46	1.74	4.99
临沧	21.26	63.89	14.98	16.51	0.94	0.72	2.96
德宏	12.39	66.33	12.96	9.75	1.69	1.96	7.31
思茅	24.92	58.71	17.72	20.25	0.58	0.41	2.33
西双版纳	15.73	66.72	11.86	14.10	1.34	0.89	5.10
甘孜	10.12	81.83	8.09	3.97	1.35	0.63	4.13
横断山区	15.96	64.13	11.77	12.54	1.24	0.92	9.40

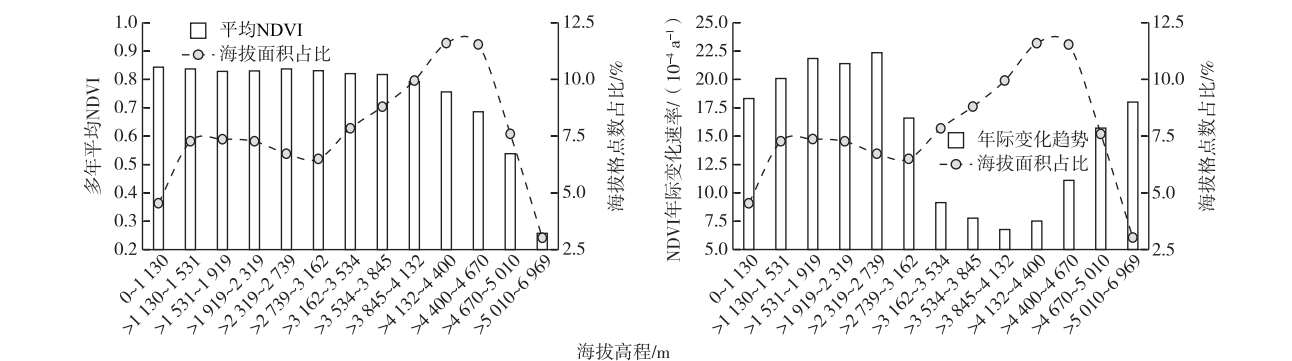


图 5 横断山区多年平均 NDVI 和 NDVI 年际变化速率的海拔分异
Fig. 5 Elevation differences in the multi-year average NDVI and NDVI interannual rates of change in the Hengduan Mountains Region

植被变化的分布优势($K>1$)区间也不同,在小于 1 130 m 区域植被极显著减少类型分布优势明显,说明该区域植被极显著减少占主导, $>1\,130\sim3\,162\text{ m}$ 区域植被极显著增加类型分布优势明显, $>3\,162\sim4\,670\text{ m}$ 区域植被维持稳定占主导,而 $>4\,670\text{ m}$ 区域无有效值占主导。此外, $>2\,739\sim3\,534\text{ m}$ 区域植被变化分布趋势开始出现优势和非优势的转折,该地形区域植被比较脆弱,容易出现波动(图 6)。在不同的海拔区域,植被变化以维持稳定为主,植被减少类型比例较小。植被减少类型

除了在海拔小于 1 919 m 区域内和 $>3\,162\sim4\,132\text{ m}$ 区域内面积比例大于 2% 以外,其余各区域均小于 2%,最低仅为 0.19%。植被增加类型从 39.57% 逐渐减少至 5.46%。可见,随着高程的变化,植被变化与自然环境 and 人为影响关系密切;在小于 1 919 m 区域,气温、水分等都适合植被生长,但是受人为干扰大,多为农耕、开发建设区,植被 NDVI 减少明显;在 $>1\,919\sim4\,400\text{ m}$ 地区,因海拔高,人类活动减少,是实施生态保护工程的主要区域,植被 NDVI 呈稳定和增加趋势;在 $>4\,670\text{ m}$ 地区,由于受云影响,缺

乏有效的 NDVI 值。

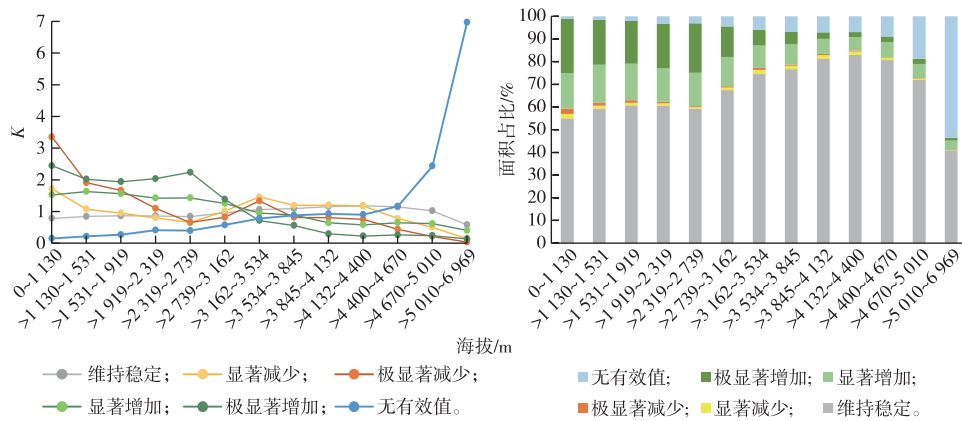


图 6 横断山区不同变化类型植被 K 随海拔的变化及面积占比

Fig. 6 Changes of different vegetation types K with altitude and area proportion in the Hengduan Mountains Region

由横断山区不同坡向面积占比及 NDVI 多年平均值可知,横断山区不同坡向植被 NDVI 差异较小,植被 NDVI 均值为 0.759~0.774。虽然横断山区坡向以东坡、西南坡、东北坡和西坡为主,其面积占比分别为 13.29%、13.04%、13.03% 和 13.02% (图 7),但 NDVI 总体呈北坡大于南坡、西坡大于东坡的分布格局,其中,西北坡 NDVI 最高,为 0.774,其后依次为西坡、北坡、东南坡、西南坡、南坡,NDVI 分

别为 0.770、0.765、0.764、0.764 和 0.762,东北坡和东坡最小,均为 0.759 (图 7)。就 NDVI 变化趋势而言,2000—2020 年横断山区不同坡向 NDVI 均呈增加趋势,其中西北坡增加速率最快,为 $15.71 \times 10^{-4} \text{ a}^{-1}$,其次是西坡、北坡、西南坡、南坡、东北坡和东南坡,NDVI 增加速率分别为 15.04×10^{-4} 、 14.55×10^{-4} 、 13.77×10^{-4} 、 13.42×10^{-4} 、 13.40×10^{-4} 和 $13.35 \times 10^{-4} \text{ a}^{-1}$,东坡增加速率最慢,为 $12.94 \times 10^{-4} \text{ a}^{-1}$ (图 7)。

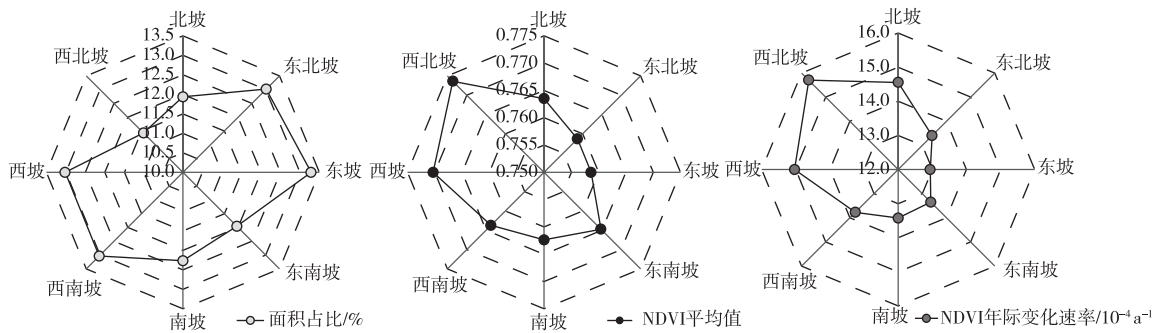


图 7 横断山区多年平均 NDVI 和 NDVI 年际变化速率的坡向分异

Fig. 7 Aspect differences in the multi-year average NDVI and NDVI interannual rates of change in the Hengduan Mountains Region

植被变化类型在平地区域的分布差异明显,无有效值类型分布优势明显 ($K=4.61$),同时,植被极显著减少类型分布优势明显,植被稳定不变类型在各坡向分布平稳。这表明在平地区域 MODIS 植被监测产品仍存在较多无效值,而且平地更容易受到人类活动影响而发生退化。当坡向由北坡转向西南坡,植被减少类型的分布在增加,而植被增加类型的分布则小幅波动;当坡向由西南坡转向西北坡

时,植被减少类型的分布在减少,而植被增加类型的分布则增多。其中,植被减少在西南坡占主导,植被增加在西北坡占主导,此外,东坡和西坡区域植被变化分布趋势开始出现优势和非优势的转折,该地形区域植被比较脆弱,容易出现波动 (图 8)。就不同坡向而言,植被 NDVI 以维持稳定为主,除了平地植被维持稳定占比为 47.73% 外,其余坡向均在 70% 以上。植被增加在西北坡、西坡和北坡的占

比较高,超过 20.84%,而植被减少在西南坡、平地、南坡、东南坡和东坡占比较高,超过 1.88%(图 8)。可见,横断山区不同坡向植被均以维持稳定为主,但平地区域 MODIS 植被监测产品存在较多无效值,

且平地区域植被退化显著,这多与平地存在受人类活动影响大的建设用地、水域等有关。西北坡、西坡和北坡的植被改善分布明显,西南坡、平地、南坡、东南坡和东坡植被退化明显。

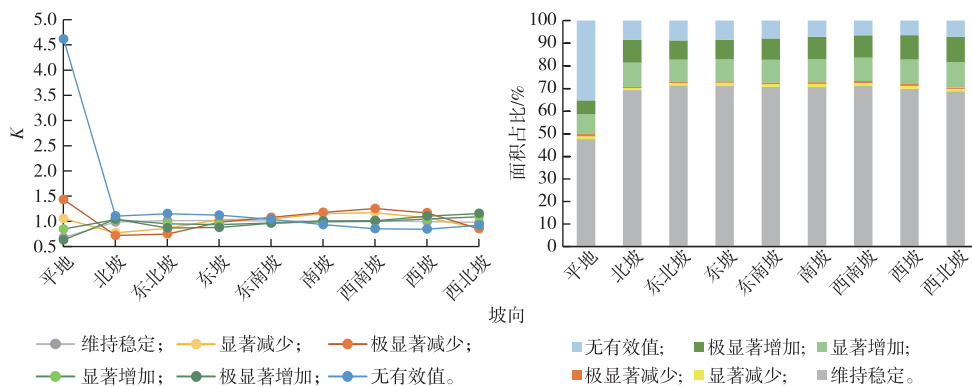


图 8 横断山区不同变化类型植被 K 随坡向的变化及面积占比

Fig. 8 Changes of different vegetation types K with aspect and area proportion in the Hengduan Mountains Region

不同坡度会通过影响地表径流、水土保持流失状况进而影响植被生长。横断山区多年平均 NDVI 和 NDVI 年际变化速率的坡度分异见图 9, 研究区 97.73% 的像元坡度集中在 $0 \sim 30.9^\circ$, 其中 $>3.8^\circ \sim 7.5^\circ$ 的像元占比最多, 为 17.95%。在 $0 \sim 30.9^\circ$ 之间, 植被 NDVI 随坡度增加呈阶梯式增大, $>30.9^\circ \sim 34.4^\circ$ 轻微减小, $>34.4^\circ \sim 38.9^\circ$ 是 NDVI 峰值区, 而在坡度 $>38.9^\circ$ 区域, NDVI 急剧减小, 不足 0.77 (图

9)。2000—2020 年横断山区不同坡度植被 NDVI 均呈增加趋势, 其中坡度为 $>7.5^\circ \sim 10.6^\circ$ 区域增加速率最快, 达 $15.59 \times 10^{-4} \text{ a}^{-1}$, $0 \sim 3.8^\circ$ 区域增加速率较慢, 为 $11.28 \times 10^{-4} \text{ a}^{-1}$, 在其余坡度区域均随坡度增加, NDVI 增加速率呈阶梯式减缓, 其中, 坡度为 $>38.9^\circ \sim 57.7^\circ$ 区域 NDVI 增加速率最慢, 为 $9.49 \times 10^{-4} \text{ a}^{-1}$ (图 9)。

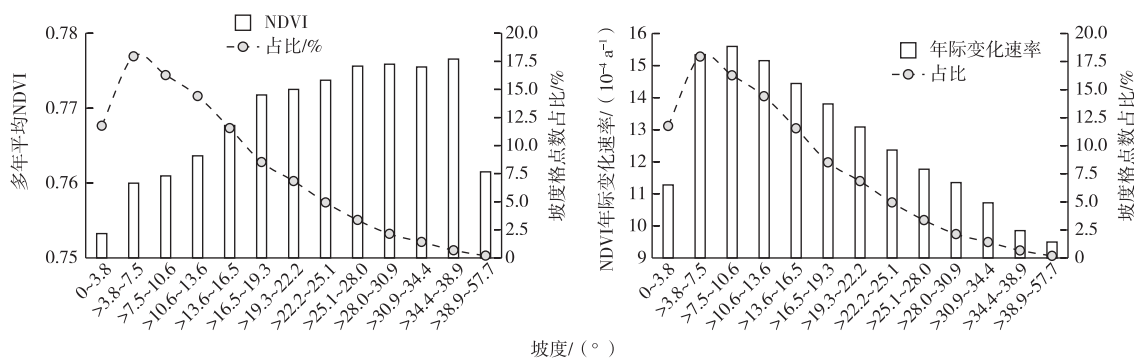


图 9 横断山区多年平均 NDVI 和 NDVI 年际变化速率的坡度分异

Fig. 9 Slope differences in the multi-year average NDVI and NDVI interannual rates of change in the Hengduan Mountains Region

随着坡度增加, 植被维持稳定类型、植被增加类型分布均逐渐降低, 而植被减少类型在坡度为 $>3.8^\circ \sim 7.5^\circ$ 区域迅速降低, $>7.5^\circ \sim 16.5^\circ$ 区域逐渐降低, $>16.5^\circ \sim 57.7^\circ$ 区域逐渐增加, 无效值持续稳定增加。在坡度小于 3.8° 的区域, 植被减少类型分布优势明显 ($K > 1.93$), 尤其是植被极显著减少类型

($K = 3.55$), 而坡度为 $>3.8^\circ \sim 28.0^\circ$ 区域植被维持稳定和增加类型分布优势明显, 坡度为 $>34.4^\circ \sim 38.9^\circ$ 的区域植被显著减少类型则呈现优势分布。此外, $>22.2^\circ \sim 28.0^\circ$ 区域是植被变化分布趋势开始出现优势和非优势的转折, 该地形区域植被比较脆弱, 容易出现波动 (图 10)。不同坡度范围内, 植被变化

以维持稳定和增加为主。无效值随着坡度增加而逐渐增加,植被增加类型则逐渐减少。其中,植被减少类型在小于 3.8° 区域比例最大,为 4.66% ,在 $>16.5^{\circ} \sim 19.3^{\circ}$ 区域最小,为 1.28% ;植被维持稳定类型的比例均在 70% 左右;植被增加类型从 $>3.8^{\circ} \sim 7.5^{\circ}$ 区域的 22.04% 逐渐减少到 $>38.9^{\circ}$ 区域的 13.29% (图 10)。可见,地势平坦区域 ($<3.8^{\circ}$) 是人

类活动的主要地区,农耕、工业建设均集中在此区域,植被减少分布明显。坡度为 $>3.8^{\circ} \sim 25.1^{\circ}$ 区域土壤持水能力和养分最适宜植被生长,因此植被增加最明显,而随着坡度逐渐增大,地势陡峭,人类活动相对少,但土壤持水能力和养分逐渐变差,因此植被增加类型逐渐减弱。

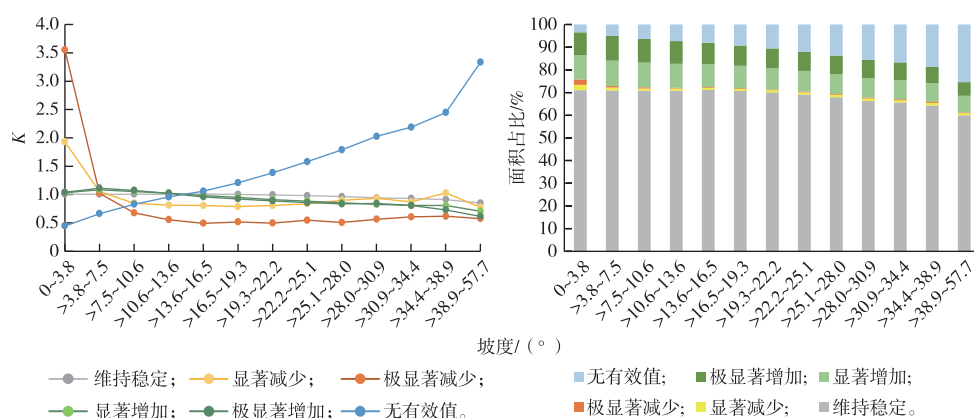


图 10 横断山区不同变化类型植被 K 随坡度的变化及面积占比

Fig. 10 Changes of different vegetation types K with slope and area proportion in the Hengduan Mountains Region

3 讨论与结论

3.1 讨论

2000—2020 年横断山区植被 NDVI 整体呈波动增加趋势,与全球及我国其他地区的植被变化趋势^[1,5,22-23]一致,但仍存在较大的时空异质性,这与气候因子、地形因子和人类活动^[29]密切相关。在气候变化背景下,横断山区呈整体暖湿化、局部暖干化的现象^[30],良好的水热条件促进了植被生长,因此横断山区大部地区 NDVI 呈稳定和增加趋势;植被 NDVI 显著增加区域与生态自然保护区、凉山州等地区大力实施天保工程、退耕还林工程、生态护林员制度、生态脆弱区治理、草原生态奖补和石漠化综合治理工程等的生态建设项目区^[29]具有良好的一致性,再次证明生态保护对横断山区植被的积极作用。横断山区中北部地区生态环境相对脆弱,植被退化现象严重,这与该区域降水呈减少趋势,极端气候事件显著增加,干热少雨、水土流失严重^[31],超载过牧、鼠虫害、乱砍乱伐^[23]密切相关;人为毁林开荒、城镇建设和工业用地等人类活动影响是导致南部大理等地区 NDVI 显著减少的重要原因。虽然横断山区植被退化的面积比例小于 3% ,但该问题依然不容忽视。

在大尺度区域范围内,高程是关键的地形因

子,在横断山区海拔小于 $3\,845\text{ m}$ 的地区植被长势良好,这与胡实等^[32]的研究结论一致,虽然不同海拔区间植被 NDVI 均呈改善趋势,但笔者研究发现横断山区小于 $1\,130\text{ m}$ 区域植被极显著减少类型分布优势明显, $>1\,130 \sim 3\,162\text{ m}$ 区域植被极显著增加类型分布优势明显, $>3\,162 \sim 4\,670\text{ m}$ 区域植被维持稳定占主导。这表明退耕还林、封山育林等生态工程使得高山植被受人为扰动小,利于植被的恢复。而在低海拔地区,由于人类活动剧烈,森林转变为诸如建设用地等,导致植被 NDVI 降低^[5-6,23]。横断山区南北走向的特殊地形对西南海洋季风和东南海洋季风产生层层阻挡,造成迎风坡和背风坡水热条件不同,自然垂直带差异也明显,同时海拔高度由南向北随纬度增加而急剧升高,导致气候南北分化。总体来看, 28° N 以南为亚热带和热带地区,由于水湿条件分别从东西两侧往腹地金沙江流域逐渐降低^[33],东、西坡分异显著,具体表现为在 101° E 以西山地,西坡处于迎风坡,湿润而多雨,多湿性的常绿阔叶林带;而东坡为背风坡,相对干燥,常为相对干性的针叶林带;在 101° E 以东山地,受东南季风的影响较大,东坡为迎风坡而西坡为背风坡,东坡相对西坡更湿润。而在 $28^{\circ}\text{ N} \sim 29^{\circ}\text{ N}$ 范围内,这一地区由于高大山体对季风的屏障作用、焚风效应和山谷风的影响,是横断山区的干旱中心^[16],因此

不论东、西坡,都为亚热带干热河谷稀树灌丛带,坡向分异不明显。在 29°N 以北为温带和寒带地区,多干旱高寒草原,海洋暖湿气流的影响逐渐减弱,大陆性气候逐渐加强,东、西坡差异减小。至北部丘原地貌景观区,坡向差异逐渐转换为南北坡的分异:南坡向阳,光照强,蒸发大,昼夜变温剧烈,一般为较干燥的生境;而北坡背阴,光照弱,水分蒸发慢,昼夜变温平缓,土壤相对湿润;因此北坡的植被更旺盛,NDVI 更高。综上,横断山区特殊的地形—气候环境造成植被群落分布的多样性和复杂性,多种影响在区域尺度上可以相互抵消,综合造成横断山区整体的 NDVI 坡向差异较小。横断山区 NDVI 总体呈北坡大于南坡、西坡大于东坡的分布格局,西北坡 NDVI 值较西南坡高的一个重要原因可能是 101°E 以西地区面积占比较以东地区大,而 29°N 以北地区面积占比较以南地区大。一般而言,坡度越大的地区土壤持水性也越差,因此植被 NDVI 应随坡度增大而减小^[20],但笔者研究中横断山区植被 NDVI 最高的区域反而不是坡度最小的区域,低坡度容易受到人类活动的影响,植被 NDVI 反而较低,且植被 NDVI 显著减少类型分布优势明显。综上,未来在横断山区进行生态建设时,应充分考虑地形因子的限制条件,多重视低海拔、缓坡处植被生态治理。

横断山区地形复杂,生境异质性强,云雾天气较多,可见光遥感监测仍存在诸多限制。虽然笔者研究已经通过年最大合成法来尽量避免云雾的影响,但仍存在许多无有效值区,尤其是海拔大于 4 670 m、坡度大于 16.5°、坡向为平地的区域,后续研究需注意云雾影响带来的误差,确保研究结果更加客观合理。

3.2 结论

(1)近 21 a 横断山区植被 NDVI 呈南高北低、低海拔地区大于高海拔山脉地区的分布格局,随海拔变化规律性显著,存在明显的岭谷差异。高海拔山脉地区植被 NDVI 不足 0.3,而中南部低海拔地区植被 NDVI 超过 0.9。总体上,2000—2020 年横断山区植被 NDVI 呈波动增加趋势,年际变化速率为 $0.013 (10 \text{ a})^{-1}$,64.13% 的区域植被稳定,极显著增加和显著增加区域占比分别为 12.54% 和 11.77%,其中,思茅市、凉山州和丽江市等地区植被 NDVI 增加速率较快。

(2)地形因子对横断山区植被 NDVI 的影响明显。NDVI 在海拔小于 3 845 m 的区域小幅波动,超过 3 845 m 后呈阶梯式减小;不同坡向植被 NDVI 差

异较小,植被 NDVI 均值为 0.759~0.774,但北坡大于南坡,西坡大于东坡,西北坡最大;植被 NDVI 在 0~38.9°范围随坡度增加呈阶梯式增大,而坡度高于 38.9°后则急剧减小。

(3)横断山区不同海拔、坡向和坡度的植被 NDVI 年际变化速率均大于 0,但在海拔小于 1 919 m、坡度小于 3.8°的平地区域植被 NDVI 年际增加速率较小,显著退化分布明显;在海拔为 1 919~3 162 m、坡度为 3.8°~25.1°,坡向为西北坡、西坡和北坡的区域植被 NDVI 以稳定和增加为主;在海拔为 2 739~3 534 m、坡度为 22.2°~28.0°、坡向为东坡和西坡的过渡区域,植被变化分布趋势开始出现优势和非优势的转折,植被 NDVI 易出现波动,是今后生态治理需要着重注意和加强的区域;在海拔大于 4 670 m、坡度大于 16.5°、坡向为平地的区域 MODIS 植被监测产品仍存在较多无效值,后期研究需注意。

参考文献:

- [1] 顾羊羊,邹长新,乔旭宁,等.2000—2015 年黔东南州植被覆盖时空变化及影响因素分析[J].生态与农村环境学报,2021,37(11):1413—1422. [GU Yang-yang, ZOU Chang-xin, QIAO Xu-ning, et al. Spatio-temporal Variations of Fractional Vegetation Coverage and Influencing Factors in Qianxi'nan Prefecture from 2000 to 2015 [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2021, 37(11):1413-1422.]
- [2] 王瑞杰,闫峰.2000—2018 年西北砒砂岩区植被覆盖度与地形效应[J].应用生态学报,2020,31(4):1194—1202. [WANG Rui-jie, YAN Feng. Fractional Vegetation Cover and Topographic Effects in Pisha Sandstone Area of Northwest China in 2000—2018 [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(4):1194-1202.]
- [3] FU Y, CHEN H, NIU H H, et al. Spatial and Temporal Variation of Vegetation Phenology and Its Response to Climate Changes in Qaidam Basin from 2000 to 2015 [J]. Journal of Geographical Sciences, 2018, 28(4):400—414.
- [4] 朱林富,谢世友,杨华,等.基于 MODIS EVI 的重庆植被覆盖变化的地形效应[J].自然资源学报,2017,32(12):2023—2033. [ZHU Lin-fu, XIE Shi-you, YANG Hua, et al. The Response of Dynamic Change in Vegetation Coverage to Topography in Chongqing Based on MODIS EVI [J]. Journal of Natural Resources, 2017, 32(12):2023-2033.]
- [5] 徐勇,戴强玉,黄雯婷,等.2000—2020 年西南地区植被 NDVI 时空变化及驱动机制探究[J].环境科学,2022,1—18. [XU Yong, DAI Qiang-yu, HUANG Wen-ting, et al. Spatio-temporal Variation of Vegetation Cover and Its Driving Mechanisms Exploration in Southwest China from 2000 to 2020 [J]. Environmental Science, 2022:1-18.]
- [6] 刘梁美子,占车生,胡实,等.黔桂喀斯特山区植被变化及其地形效应[J].地理研究,2018,37(12):2433—2446. [LIU

- Liang-mei-zi, ZHAN Che-sheng, HU Shi, *et al.* Vegetation Change and Its Topographic Effects in the Karst Mountainous Areas of Guizhou and Guangxi [J]. *Geographical Research*, 2018, 37(12): 2433–2446.]
- [7] LAMBERT C B, RESLER L M, SHAO Y, *et al.* Vegetation Change as Related to Terrain Factors at Two Glacier Forefronts, Glacier National Park, Montana, USA [J]. *Journal of Mountain Science*, 2020, 17(1): 1–15.
- [8] WANG Bang-wen, ZHANG Guang-hui, DUAN Jian. Relationship between Topography and the Distribution of Understory Vegetation in a *Pinus massoniana* Forest in Southern China [J]. *International Soil and Water Conservation Research*, 2015(4): 291–304
- [9] LIU H, ZHENG L, YIN S J. Multi-perspective Analysis of Vegetation Cover Changes and Driving Factors of Long Time Series Based on Climate and Terrain Data in Hanjiang River Basin, China [J]. *Arabian Journal of Geosciences*, 2018, 11(17): 509.
- [10] AL-QURAISHI A M F, RAZVANCHY H A S, GAZNAYEE H A A. A Comparative Study for Performance of Five Landsat-based Vegetation Indices: Their Relations to Some Ecological and Terrain Variables [J]. *Journal of Geoinformatics & Environmental Research*, 2020, 1(1): 20–37.
- [11] DONG Y F, XIONG D H, SU Z A, *et al.* The Distribution of and Factors Influencing the Vegetation in a Gully in the Dry-hot Valley of Southwest China [J]. *CATENA*, 2014, 116: 60–67.
- [12] DAVIESK W, BATES J D, MILLER R F. Environmental and Vegetation Relationships of the *Artemisia tridentata* Spp. *wyomingensis* Alliance [J]. *Journal of Arid Environments*, 2007, 70(3): 478–494.
- [13] 胡尔查, 王晓江, 铁牛, 等. 内蒙古大青山国家级自然保护区植被归一化指数时空变化及其与环境因子的关系 [J]. *生态学报*, 2022, 42(14): 5945–5955. [HU Er-cha, WANG Xiao-jiang, TIE Niu, *et al.* Spatio-temporal Variation of NDVI and Influencing Factors in the Daqing Mountain National Nature Reserve, Inner Mongolia [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(14): 5945–5955.]
- [14] ZAPATA-RIOS X, BROOKS P D, TROCH P A, *et al.* Influence of Terrain Aspect on Water Partitioning, Vegetation Structure and Vegetation Greening in High-elevation Catchments in Northern New Mexico [J]. *Ecohydrology*, 2016, 9(5): 782–795.
- [15] 王亚慧, 戴尔阜, 马良, 等. 横断山区产水量时空分布格局及影响因素研究 [J]. *自然资源学报*, 2020, 35(2): 371–386. [WANG Ya-hui, DAI Er-fu, MA Liang, *et al.* Spatiotemporal and Influencing Factors Analysis of Water Yield in the Hengduan Mountain Region [J]. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(2): 371–386.]
- [16] 姚永慧, 张百平, 韩芳, 等. 横断山区垂直带谱的分布模式与坡向效应 [J]. *山地学报*, 2010, 28(1): 11–20. [YAO Yong-hui, ZHANG Bai-ping, HAN Fang, *et al.* Spatial Pattern and Exposure Effect of Altitudinal Belts in the Hengduan Mountains [J]. *Journal of Mountain Science*, 2010, 28(1): 11–20.]
- [17] 李炳元. 横断山区地貌区划 [J]. *山地研究*, 1989, 7(1): 13–20. [LI Bing-yuan. Geomorphologic Regionalization of the Hengduan Mountainous Region [J]. *Journal of Mountain Research*, 1989, 7(1): 13–20.]
- [18] 张谊光. 横断山区气候区划 [J]. *山地研究*, 1989, 7(1): 21–28. [ZHANG Yi-guang. Climatic Division of the Hengduan Mountainous Region [J]. *Journal of Mountain Research*, 1989, 7(1): 21–28.]
- [19] 余有德, 刘伦辉, 张建华. 横断山区植被分区 [J]. *山地研究*, 1989, 7(1): 47–55. [YU You-de, LIU Lun-hui, ZHANG Jian-hua. Vegetation Regionalization of the Hengduan Mountainous Region [J]. *Journal of Mountain Research*, 1989, 7(1): 47–55.]
- [20] 王晓蕾, 石守海. 基于 GEE 的黄河流域植被时空变化及其地形效应研究 [J]. *地球信息科学学报*, 2022, 24(6): 1087–1098. [WANG Xiao-lei, SHI Shou-hai. Spatio-temporal Changes of Vegetation in the Yellow River Basin and Related Effect of Landform Based on GEE [J]. *Journal of Geo-information Science*, 2022, 24(6): 1087–1098.]
- [21] HIRSCH R M, SLACK J R. A Nonparametric Trend Test for Seasonal Data with Serial Dependence [J]. *Water Resources Research*, 1984, 20(6): 727–732.
- [22] 曹晓云, 祝存兄, 陈国茜, 等. 2000—2021 年柴达木盆地地表绿度变化及地形分异研究 [J]. *生态环境学报*, 2022, 31(6): 1080–1090. [CAO Xiao-yun, ZHU Cun-xiong, CHEN Guo-qian, *et al.* Surface Greenness Change and Topographic Differentiation over Qaidam Basin from 2000 to 2021 [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2022, 31(6): 1080–1090.]
- [23] 王鑫, 王明田, 冯勇, 等. 2001—2020 年川西北高原归一化植被指数演变特征及其对极端气候的响应 [J]. *应用生态学报*, 2022, 33(7): 1957–1965. [WANG Xin, WANG Ming-tian, FENG Yong, *et al.* Variation Characteristics of Normalized Difference Vegetation Index in Northwestern Sichuan Plateau and Its Response to Extreme Climate during 2001–2020 [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2022, 33(7): 1957–1965.]
- [24] 韩继冲, 喻舒琳, 杨青林, 等. 1999—2015 年长江流域上游植被覆盖特征及其对气候和地形的响应 [J]. *长江科学院院报*, 2019, 36(9): 51–57. [HAN Ji-chong, YU Shu-lin, YANG Qing-lin, *et al.* Responses of Vegetation Coverage in the Upper Reaches of the Yangtze River Basin to Climate and Topography from 1999 to 2015 [J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2019, 36(9): 51–57.]
- [25] 李卓, 孙然好, 张继超, 等. 京津冀城市群地区植被覆盖动态变化时空分析 [J]. *生态学报*, 2017, 37(22): 7418–7426. [LI Zhuo, SUN Ran-hao, ZHANG Ji-chao, *et al.* Temporal-spatial Analysis of Vegetation Coverage Dynamics in Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Regions [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(22): 7418–7426.]
- [26] 童晓伟, 王克林, 岳跃民, 等. 桂西北喀斯特区域植被变化趋势及其对气候和地形的响应 [J]. *生态学报*, 2014, 34(12): 3425–3434. [TONG Xiao-wei, WANG Ke-lin, YUE Yue-min, *et al.* Trends in Vegetation and Their Responses to Climate and Topography in Northwest Guangxi [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(12): 3425–3434.]
- [27] 周长海, 吴绍洪, 戴尔阜, 等. 纵向岭谷区水汽通道作用及植被生产力响应 [J]. *科学通报*, 2006, 51(增刊 2): 81–89. [ZHOU Chang-hai, WU Shao-hong, DAI Er-fu, *et al.* Response of Water Vapor Channel and Vegetation Productivity in Longitudinal Ridge-

- valley Area[J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51 (Suppl. 2): 81-89.]
- [28] 段海霞, 王素萍, 冯建英. 2014 年全国干旱状况及其影响与成因[J]. 干旱气象, 2015, 33 (2): 349-360. [DUAN Hai-xia, WANG Su-ping, FENG Jian-ying. Drought Situation in China in 2014, Its Influence and Causes[J]. Journal of Arid Meteorology, 2015, 33(2): 349-360.]
- [29] 彭彬, 宋思梦, 李勋, 等. 川西横断山区生态资源现状及恢复建议[J]. 现代农业科技, 2022 (9): 115-118. [PENG Bin, SONG Si-meng, LI Xun, *et al.* Present Situation of Ecological Resources in Hengduan Mountain Area of West Sichuan and Suggestions for Restoration[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2022 (9): 115-118.]
- [30] 李朝艳. 近 59 a 来川西横断山区河谷区气候干湿变化研究[D]. 成都: 四川师范大学, 2020. [LI Chao-yan. Study on Dry and Wet Climate Changes in the Valleys of the Hengduan Mountains in Western Sichuan in Recent 59 Years [D]. Chengdu: Sichuan Normal University, 2020.]
- [31] 卞耀劲, 孙鹏, 张强, 等. 横断山区极端气候变化的时空格局[J]. 水利水电技术, 2021, 52 (9): 1-15. [BIAN Yao-jin, SUN Peng, ZHANG Qiang, *et al.* Spatial Distribution Characteristics of Extreme Climatic Events in the Hengduan Mountains Region[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2021, 52 (9): 1-15.]
- [32] 胡实, 占车生, 赵茹欣, 等. 横断山区植被绿度的时空变化特征及其成因[J]. 山地学报, 2019, 37 (5): 669-680. [HU Shi, ZHAN Che-sheng, ZHAO Ru-xin, *et al.* Detecting Changes and Causes of Vegetation Greenness in the Hengduan Mountains Region, China[J]. Mountain Research, 2019, 37(5): 669-680.]
- [33] 刘伦辉, 余有德, 张建华. 横断山区植被分布规律的探讨[J]. 云南植物研究, 1985, 7 (3): 323-335. [LIU Lun-hui, YU You-de, ZHANG Jian-hua. Discussion upon the Regularities of Vegetational Distribution in the Hengduan Mountains[J]. Acta Botanica Yunnanica, 1985, 7(3): 323-335.]
- 作者简介: 白玛曲西(1992—), 女, 藏族, 西藏昌都人, 工程师, 主要从事藏东地区天气气候分析与预报服务。E-mail: 564426041@qq.com
- (责任编辑: 李祥敏)

欢迎订阅 2024 年《生态与农村环境学报》

《生态与农村环境学报》系生态环境部主管、生态环境部南京环境科学研究所主办的全国性学术期刊, 是《中文核心期刊要目总览》2020 年版入编期刊、中国科学引文数据库(CSCD)核心期刊、中国学术期刊评价研究报告(RCCSE)核心期刊、中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)、中国农林核心期刊, 被中国学术期刊网络版(CNKI-CAJD)、中国知网《学术精要数据库》、中国学术期刊数据库(COJ)、中国科技论文与引文数据库(CSTPCD)、中国核心期刊(遴选)数据库(万方)、中文科技期刊数据库(维普)、国家哲学社会科学文献中心、超星期刊数据库、美国生物学文摘预评(BP)、生物学文摘(BIOSIS)、美国化学文摘(CA)、国际农业和生物科学中心文摘库(CAB ABSTRACTS)、英国国际农业与生物科学研究中心(CABI)、国际联机检索系统-化学化工(CA on STN)、艾博思科学学术数据库(EBSCO)、荷兰地学数据库(GEOBASE)、英国公共健康研究数据库(Global Health)、日本科学技术振兴机构数据库(JST)、生物医学电子数据库 OVID、REAXYSFILEBIB on STN、荷兰文摘与引文数据库(SCOPUS)、美国乌利希国际期刊指南(UPD)、科技期刊世界影响力指数(WJCI)报告等国内外重要刊库网收录。曾荣获全国优秀环境科技期刊、江苏省优秀期刊、第二届江苏“十强科技期刊”、第三届江苏省新闻出版政府奖期刊奖提名奖、第七届华东地区优秀期刊、RCCSE 中国权威学术期刊、首届江苏省科技期刊优秀论文奖。

本刊宗旨: 及时报道生态与农村环境保护领域创新性研究成果等。

主要栏目: 研究报告、研究简报、研究方法、专论与综述、学术讨论与建议等。

主要内容: (1) 区域环境与发展, 包括生态环境变化与全球环境影响、区域生态环境风险评价、环境规划与管理、区域生态经济与生态安全等; (2) 自然保护与生态, 自然资源保护与利用、生物多样性与外来物种入侵、转基因生物环境安全与监控、生态工程与生态修复、有机农业与农业生态、气候变化与生态响应等; (3) 污染控制与修复, 包括污染控制原理与技术、土壤污染与修复、水环境污染与修复、大气污染防控、农业废弃物综合利用与资源化、农用化学品风险评价与监控、化学品环境与健康等。

主要读者对象: 从事生态学、环境科学、农学、林学、地学、资源科学等研究、教学、生产的科技人员, 相关专业的高等院校师生以及各级决策与管理人员。

本刊为月刊, 每月 25 日出版, A4 开本, 每期 136 页, 每期定价 30.00 元, 全年定价 360.00 元, 公开发行, 国内邮发代号 28-114, 全国各地邮局均可订阅; 国外由中国国际图书贸易总公司(北京 399 信箱)负责发行, 国外发行代号 Q5688。如漏订, 可向本刊编辑部补订。编辑部地址: 江苏省南京市蒋王庙街 8 号; 邮政编码: 210042; 电话: (025) 85287092, 85287053, 85287036, 85287601, 85287630; 网址: <http://www.ere.ac.cn>; E-mail: ere@vip.163.com, bjb@nies.org。

本刊编辑部
9 月 18 日