

2000—2020年莆田木兰溪流域植被覆盖时空变化

徐延芳

(仙游县环境监察大队,福建 莆田 351200)

摘要:木兰溪流域作为福建省重要的水源涵养地,也是生态环境敏感脆弱的区域,对该流域的植被覆盖进行检测和分析具有重要意义。基于空间分辨率为1 km的2000—2020年NDVI年时序数据,采用Theil-Sen Median趋势分析法和Mann-Kendall检验,并叠加土地利用数据和海拔高度数据,分析了木兰溪流域不同土地利用类型和不同高程的植被覆盖变化趋势。结果表明:(1)从时间变化上看,2000—2020年植被覆盖区域NDVI年均值波动不大,整个研究时段内的平均值为0.69;(2)从空间分布上看,研究区NDVI呈现“西高东低”的特征;(3)从变化趋势上看,研究区2000—2020年地表植被覆盖改善面积大于退化面积,明显改善区域主要分布在仙游县和城厢区,其中仙游县植被覆盖明显改善所占比例最高,为52%。明显退化区域主要分布在涵江区和荔城区,其中涵江区植被覆盖明显退化,所占比例最高,为93%;(4)在不同土地利用类型中,林地、草地和未利用土地的植被覆盖明显改善所占比例最高,耕地、建设用地和水域的植被覆盖明显退化所占比例最高;(5)在不同高程带下,随着高程的增加,植被覆盖明显改善逐渐增加,植被覆盖明显退化、轻微退化逐渐减少;在特高高程带上,植被覆盖甚至未发生退化。

关键词:木兰溪流域;时空变化;植被覆盖;NDVI;Theil-Sen Median

中图分类号:Q948.15⁺6;S771.8;X87

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2024.05.006

Spatiotemporal change of vegetation coverage in the Mulan River Basin of Putian from 2000 to 2020

Xu Yanfang

(Environmental Supervision Group of Xianyou County, Putian City, Putian 351200, China)

Abstract: As an important water source conservation area in Fujian Province, the Mulan River Basin is also a sensitive and fragile ecological environment. Therefore, it is of great significance to detect and analyze the vegetation coverage in this area. Based on NDVI long-term time-series data with a spatial resolution of 1 km from 2000 to 2020, Theil Sen Median trend analysis method and Mann Kendall test were used, and land use data and altitude data were overlaid to analyze the vegetation cover change trends of different land use types and elevations in the Mulan River Basin. The results showed that: (1) From a temporal perspective, the average annual NDVI value of vegetation coverage areas from 2000 to 2020 did not fluctuate significantly, with an average value of 0.69 throughout the entire study period; (2) From a spatial distribution perspective, the NDVI in the study area exhibited high in the west and low in the east; (3) From the trend of change, the area of improved surface vegetation coverage in the study area from 2000 to 2020 was greater than the area of degraded vegetation coverage. The significantly improved areas were mainly distributed in Xianyou County and Chengxiang District, with Xianyou County having the highest proportion of significantly improved NDVI, at 52%; The obvious degradation areas were mainly distributed in Hanjiang District and Licheng District, among which Hanjiang District had the highest proportion of NDVI obvious degradation, at 93%. (4) Among different land use types, forest land, grassland, and unused land had the highest proportion of significantly improved NDVI while cultivated land, construction land, and water bodies had the highest proportion of significantly degraded NDVI. (5) Under different elevation zones, as the elevation increased, NDVI showed significant improvement and gradual increase while obvious degradation and slight degradation in NDVI gradually decreased. In the ultra-high elevation zone, NDVI even did not undergo degradation.

收稿日期:2024-05-31;修回日期:2024-08-01

作者简介:徐延芳(1975-),女,莆田仙游人,助理工程师。主要从事生态环境监理工作。

Key words: Mulan River Basin; Spatiotemporal change; Vegetation cover age; NDVI; Theil-Sen Median

植被作为地表生态环境的自然地理要素之一,对维持区域的生态平衡起到了重要作用。在生态环境评价中,分析植被生长状况和覆盖变化是不可或缺的一部分^[1],常见的植被指数有归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)、叶面积指数(Leaf Area Index, LAI)、绿度植被指数(Green Vegetation Index, GVI)和植被覆盖度(Fractional Vegetation Cover, FVC)等,其中 NDVI 被认为是衡量植被生长状况和覆盖度的最佳指标^[2-5]。国内外学者利用 NDVI 进行了一系列的植被生态环境研究,主要集中在植被动态监测、植被物候信息提取和植被驱动机制等领域,并取得了一系列进展。如李朋轩^[6]基于 MODIS NDVI 数据和气象数据,对渭河流域 2000—2020 年植被覆盖变化空间演变特征进行分析;张喜旺等^[7]通过改进物候信息遥感提取方法,并利用 MODIS NDVI 时间序列,提取伊洛河流域主要农业区的农作物物候信息;余志巍等^[8]基于卫星遥感数据、气象资料 and 统计年鉴资料,研究 1990—2015 年内蒙古草地生长的变化趋势,结合地理探测器和结构方程模型探讨内蒙古不同草地归一化植被指数变化的驱动机制。植被的变化具有时间上的复杂性和空间上的多样性,基于长时间序列的 NDVI,学者们可以对植被的活力进行评估,可以探讨不同流域地区植被覆盖的时空分布格局和动态变化趋势。Theil-Sen Median 趋势分析法和 Mann-Kendall 检验作为常用的变化检验方法,被广泛应用在揭示长时间序列生态环境动态变化趋势的研究中。如易扬等^[9]收集了 16 a 的 NDVI 数据,在长江中下游利用趋势分析、变异系数等方法,发现该地区 NDVI 均值总体呈上升趋势,且 NDVI 空间格局呈“西高东低、北高南低”特征;方德泉等^[10]以我国西南地区重要的水源涵养区——广西西江流域作为研究区,利用 Theil-Sen Median 趋势分析法耦合 Mann-Kendall 检验,对西江流域进行了趋势分析,发现在研究区内植被覆盖呈现缓慢增加。不管在时间上还是空间上,我国不同流域地区植被覆盖的时空分布格局和动态变化趋势均有所差异,采取科学的研究方法有益于对流域开展针对性的保护措施。

木兰溪作为莆田市经济、文化、政治以及交通的中心地带,流域面积 1 732 km²,影响着莆田市的经济发展,也为居民的生产生活提供了丰富的水源支持^[11]。作为生态系统的重要组成部分,植被对于

维护木兰溪流域的生态平衡、水土保持、水源涵养和生物多样性保护等发挥着至关重要的作用。而在当今全球气候变化和人类活动日益频繁的背景下,木兰溪流域的植被生态环境压力与日俱增,若能够探讨木兰溪流域干流植被的时空变化,进而研究驱动因子的响应机制,一定程度上能够有效缓解流域植被的生态环境压力。

鉴于此,本文以莆田市木兰溪干流 5 km 缓冲区范围为主要研究区域,基于 SPOT/VEGETATION 卫星遥感数据,利用 Sen + Mann-Kendall 非参数检验法,分析研究区内植被的变化趋势;再将不同土地利用类型、不同高程情况与不同的植被覆盖变化进行叠加分析,探讨两者之间的变化规律。研究结果有助于了解木兰溪流域生态系统的健康程度,为木兰溪流域及其他流域的生态环境保护和可持续发展提供参考依据。

1 研究区概况

木兰溪为福建省“五江一溪”之一,是莆田市境内最大的溪流,发源于戴云山脉余支的笔架山,自西北向东流经莆田市的仙游城关至莆田市木兰陂进入感潮河段而后由三江口注入兴化湾入海。木兰溪流域位于 25°22′N—25°25′N, 118°38′E—119°06′E,总面积 1 839 km²,干流总长为 103 km。地形平坦,降雨充沛,气候为亚热带季风性气候^[12]。本文以木兰溪干流作为研究对象,两侧各构建 5 km 缓冲区(如图 1),研究范围主要包括仙游县、城厢区、荔城区和涵江区。

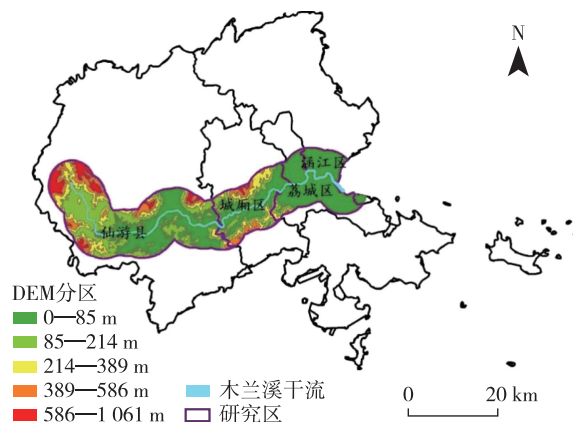


图 1 研究区概况

2 研究方法

2.1 数据采集与处理

数据采集见表1。中国年度NDVI数据集有效地反映了全国不同地区植被覆盖的时空分布和变化^[13],采用研究区边界分别剪裁NDVI数据集、福建省土地利用数据和福建省海拔高度数据得到研究区的NDVI数据、土地利用数据(如图2)和海拔高度(DEM)数据(如图1),再将不同土地利用类型和不同高程分区与不同植被覆盖变化类型进行叠加分析,得到不同土地利用类型和不同高程分区下的植被覆盖变化情况。

表1 数据采集

数据	时间	分辨率	备注
中国NDVI年空间分布数据集	2000—2020年	1 km	基于SPOT/VEGETATION卫星遥感数据,采用最大值合成法
福建省土地利用覆盖数据	2020年	30 m×30 m	
福建省高程(DEM)数据	2020年	30 m	
福建省莆田市行政边界矢量数据	2020年		

注:数据均来自中国科学院资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn/>)

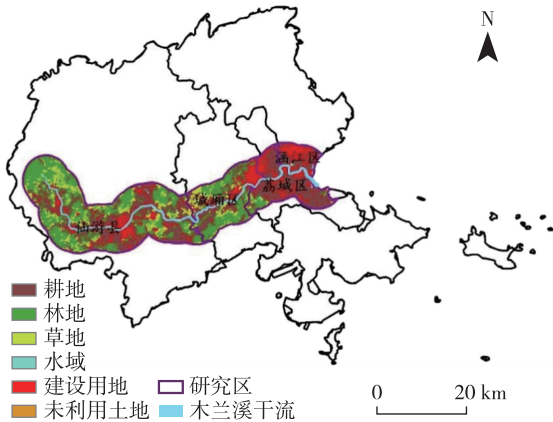


图2 研究区土地利用分类

2.2 Theil-Sen median 趋势分析

Sen 趋势分析作为稳健的非参数统计计算方法可以有效地降低噪声干扰,通过结合 Mann-Kendall 方法完成对时序趋势的检验可以弥补 Theil-Sen median 分析无法进行序列趋势显著性判断的缺点^[14]。计算式如下:

$$\beta = \text{Median}\left(\frac{NDVI_j - NDVI_i}{j - i}\right)$$

式中, β 表示 NDVI 时间序列的趋势变化, Median 为中值函数, $NDVI_i$ 和 $NDVI_j$ 分别表示时间段 i 和 j 的 NDVI 均值($1 < i < j < n$)。当 β 大于 0 表示改善趋势,小于 0 表示退化趋势,等于 0 则表示稳定不变趋势。

2.3 Mann-Kendall 检验

Mann-Kendall 统计检验常用于水文、气象的时间序列分析中,属于非参数检验方法。它对样本要求较低,样本无需服从正态分布,也不受异常值干扰^[15]。计算式如下:

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{Var}}}, & S < 0 \end{cases}$$

其中,

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{Sign}(NDVI_j - NDVI_i)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$

$$\text{Sign}(NDVI_j - NDVI_i) =$$

$$\begin{cases} 1, & NDVI_j - NDVI_i > 0 \\ 0, & NDVI_j - NDVI_i = 0 \\ -1, & NDVI_j - NDVI_i < 0 \end{cases}$$

上式中, $NDVI_i$ 表示像元 i 年的 NDVI 值、 $NDVI_j$ 表示像元 j 年的 NDVI 值, n 表示时间序列的长度; Sign 是符号函数;统计量 Z 的取值范围为 $(-\infty, +\infty)$ 。通常在置信水平 $\alpha=0.05$ 和 Z 临界值 ± 1.96 下进行解读,当 $|Z| > 1.96$ 时,NDVI 的变化趋势显著,反之则为不显著(轻微)。根据变化趋势、显著性水平以及前人研究^[16-17],将 NDVI 变化趋势划分为 5 类,即:显著退化($\beta < -0.0005, Z \geq 1.96$ 或 $Z \leq -1.96$)、轻微退化($\beta < -0.0005, -1.96 < Z < 1.96$)、稳定不变($-0.0005 \leq \beta \leq 0.0005$)、轻微改善($\beta > 0.0005, -1.96 < Z < 1.96$)、显著改善($\beta > 0.0005, Z \geq 1.96$ 或 $Z \leq -1.96$)。

3 结果与分析

3.1 植被覆盖的时间变化及空间分布特征

3.1.1 植被覆盖的时间变化特征 在过去 21 a,木兰溪的植被覆盖率波动保持在较高水平,NDVI 平均值从 2000 年的 0.67 上升到 2020 年的 0.72,整个研究时段内的平均值为 0.69(如图 3)。NDVI 的变化

趋势可分为 3 个阶段:第 1 阶段为 2000—2004 年,该阶段的 *NDVI* 值稳步上升;第 2 阶段,从 2004—2016 年,*NDVI* 值呈波动状态,其中,2010 年到 2011 年出现较大的下降;第 3 阶段,从 2016—2020 年则又稳步上升。

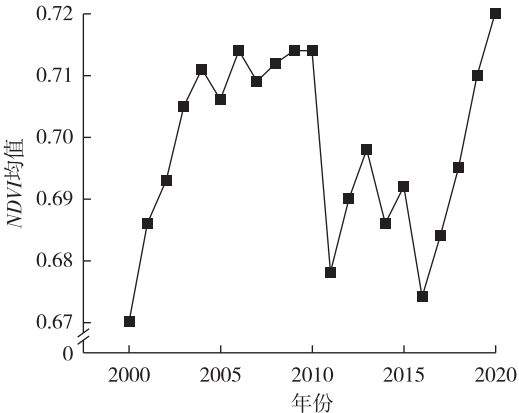


图 3 研究区 2000—2020 年 *NDVI* 变化趋势

3.1.2 植被覆盖的空间分布特征 根据 *NDVI* 年均值,计算 2000—2020 年 *NDVI* 均值,得到研究区 *NDVI* 年均值空间分布图(如图 4)。研究区总体植被覆盖度较高,整体呈现“西高东低”的分布特征。东部地区沿海,人类活动强,对植被的影响更大,*NDVI* 值相对来说较低。从图 4 可以看出,在 4 个区县中,仙游县的高植被比低植被覆盖大得多,城厢区的高植被覆盖主要分布在远离河两岸的区域,而涵江区和荔城区的高植被覆盖区域减少,低植被覆盖区域增加。

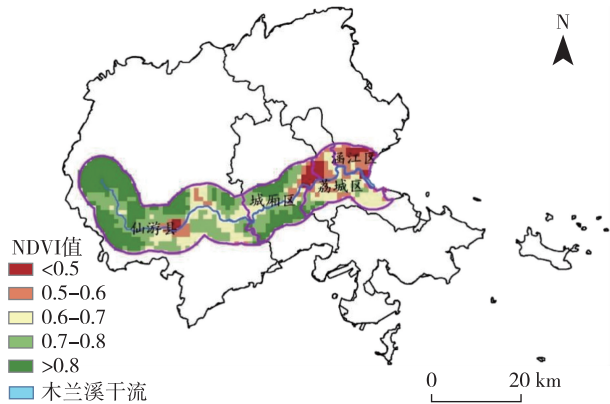


图 4 2000—2020 年研究区年均 *NDVI* 空间分布

3.2 植被覆盖变化的趋势分析

采用 Sen 趋势度分析与 Mann-Kendall 检验相结合的方式,得到木兰溪干流周围 5 km 范围 2000—

2020 年的植被覆盖变化趋势的空间分布特征。分析与检验得出结果(见表 2)为植被覆盖改善区域占植被覆盖总面积的 53%,稳定不变的区域占 2%,发生退化的区域占 45%。

表 2 2000—2020 年植被覆盖变化趋势统计

β	Z 值	植被覆盖变化	面积百分比/%
$>0.000\ 5$	$Z \geq 1.96$ 或 $Z \leq -1.96$	显著改善	46
$>0.000\ 5$	$-1.96 < Z < 1.96$	轻微改善	7
$-0.000\ 5 \sim 0.000\ 5$	$-1.96 < Z < 1.96$	稳定不变	2
$< -0.000\ 5$	$-1.96 < Z < 1.96$	轻微退化	37
$< -0.000\ 5$	$Z \geq 1.96$ 或 $Z \leq -1.96$	显著退化	8

从图 5 可以看出,2000—2020 年研究区植被改善的区域大于植被退化的区域,其中仙游县的东西部地区以及城厢区沿干流往外的区域植被情况改善明显,轻微改善的区域在仙游县和城厢区零星分布,稳定不变的区域仅分布在仙游县,而轻微退化的区域分布在 4 个区县内,明显退化的区域主要聚集在涵江区和荔城区,在仙游县的中部也存在植被覆盖明显退化的区域。整体上来看,木兰溪流域的东部属于沿海区域,如涵江区和荔城区,经济效益好,人类活动较多,植被退化明显。

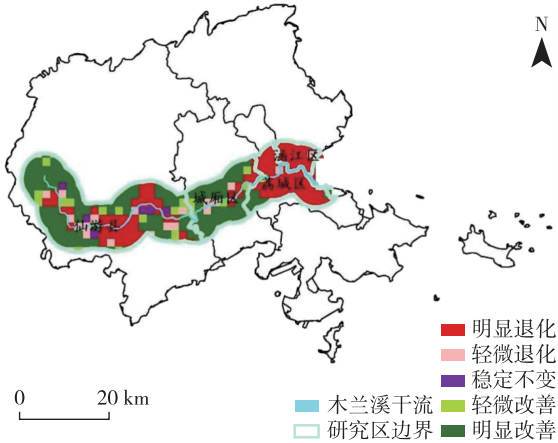


图 5 2000—2020 年研究区植被覆盖变化趋势

3.3 植被覆盖变化趋势的空间分布特征分析

3.3.1 不同区域的植被覆盖变化趋势对比 从图 6 可以看出,城厢区植被覆盖明显改善,所占比例最高,为 69%;其次是仙游县,占比为 52%,荔城区植被覆盖明显改善所占比例为 14%,涵江区不存在明显改善的比例。仙游县、荔城区和城厢区中均存在植被覆盖轻微改善的变化,其中仙游县和城厢区植被覆盖轻微改善所占比例都为 9%,而涵江区不存

在轻微改善的比例。植被覆盖稳定不变的区域只出现在仙游县,所占比例为4%。植被覆盖轻微退化的区域在流域内呈现零散分布,所占比例按大小排列依次为:仙游县(9%)、城厢区(8%)、涵江区(7%)、荔城区(3%)。涵江区和荔城区存在植被覆盖明显退化的变化,涵江区植被覆盖明显退化所占比例最高,为93%,其次是荔城区,所占比例为81%;仙游县中部也有较大块植被覆盖明显退化的区域,所占比例为26%;城厢区植被覆盖明显退化所占比例较小,只有15%。

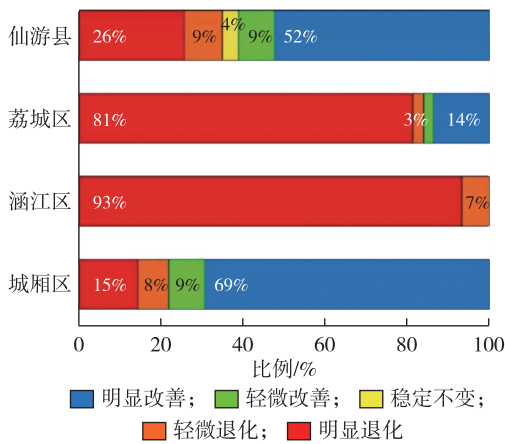


图6 2000—2020年不同地区下的植被覆盖变化趋势的比例统计

3.3.2 不同土地利用的植被覆盖变化趋势对比

各土地利用类型中(如图7),林地的植被覆盖明显改善所占的比例最高,为80%;草地的植被覆盖轻微改善、稳定不变所占比例最高,分别为11%和5%;耕地的植被覆盖轻微退化所占比例最高,为11%;建设用地的植被覆盖明显退化所占比例最高,为69%;未利用土地的植被覆盖仅存在2种变化趋势,即明显改善占64%,明显退化占36%。

3.3.3 不同高程的植被覆盖变化趋势对比 由图8可知,在低高程带下,植被覆盖明显退化所占比例较多;在高高程带下,植被覆盖明显改善所占比例较多。随着高程的增加,植被覆盖明显改善逐渐增加,植被覆盖明显退化和轻微退化逐渐减少;在特高高程带上,植被覆盖基本未发生退化。可见高程越高,人类活动对植被的干扰和破坏越小,植被生长得就越好,植被覆盖度也就越高。在低高程和较低高程地段,植被受人类活动的干扰较大,植被生长得越差,植被覆盖度也就越低。

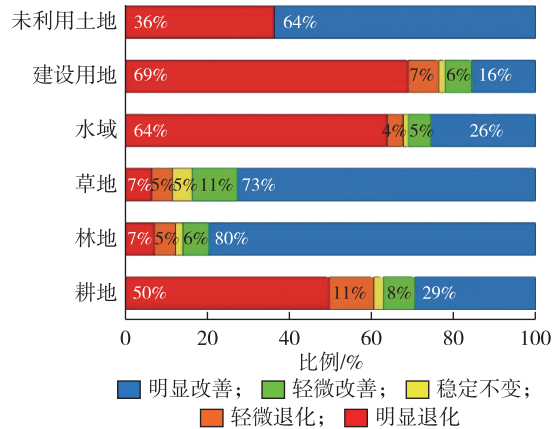


图7 2000—2020年不同土地利用类型下的植被覆盖变化趋势的面积统计

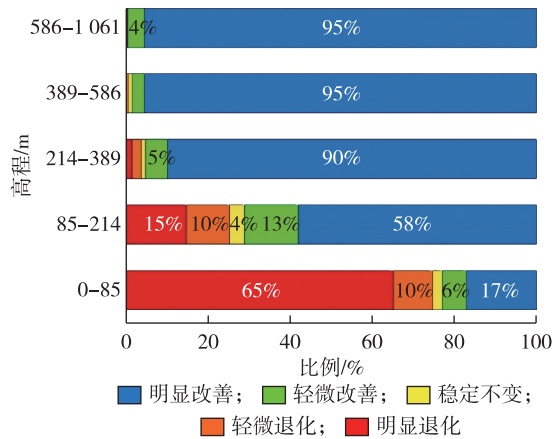


图8 2000—2020年不同高程带下的植被覆盖变化趋势的面积统计

4 结论与讨论

本文以木兰溪干流5 km缓冲区范围为研究区域,基于SPOT/VEGETATION卫星遥感数据,利用Sen+Mann-Kendall非参数检验法分析了研究区内植被的变化趋势;接着将不同土地利用类型、不同高程情况与不同的植被覆盖变化进行叠加分析,探讨了两者的变化规律。得出以下结论:(1)从时间变化上看,研究区2000—2020年的年均NDVI值波动不太,处于0.67—0.72之间;从空间分布上看,呈现“西高东低”分布格局。(2)从变化趋势上看,研究区2000—2020年地表植被覆盖改善面积大于退化植被面积,明显改善区域主要分布在仙游县和城厢区,其中仙游县植被覆盖明显改善所占比例最高,为52%;明显退化区域主要分布在涵江区和荔城区,其中涵江区植被覆盖明显退化所占比例最高,为93%。(3)在不同土地利用类型中,林地、草

地和未利用土地植被覆盖明显改善所占比例最高,耕地、建设用地和水域的植被覆盖明显退化所占比例最高。(4)在不同高程带下,低高程带的植被覆盖明显退化所占比例较大,高高程带的植被覆盖明显改善所占比例较大。随着高程的增加,植被覆盖明显改善逐渐增加,植被覆盖明显退化、轻微退化逐渐减少。在特高高程带上,植被覆盖甚至未发生退化。

本文基于 2000—2020 年的 NDVI 时序数据,借助 Theil-Sen Median 趋势分析法和 Mann-Kendall 检验方法分析木兰溪流域植被覆盖变化的趋势,相较于其他学者的研究,时间跨度更长,能够更准确地反映植被覆盖的细微变化。杨林等^[18]通过反演 FVC 来表征木兰溪流域 1994—2020 年的植被覆盖情况,结果显示木兰溪流域植被覆盖度分布没有太大变化,整体质量有一定提升,但位于木兰溪流域下游的城厢区、荔城区和涵江区等地区由于经济活动较大,植被覆盖等级有一定程度的下降。此研究结果与本文基本一致。

植被覆盖度受到自然和人为因子的共同影响,自然因素中的高程和人为因素中的土地利用类型是影响植被覆盖变化的主要驱动因子,对于高海拔的山地地区,人口密度小,植被类型主要为草地和林地,自然条件优越,受人类干扰小,植被覆盖度高,研究表明在特高高程带上,植被覆盖明显改善的比例占 95%,明显退化的比例接近于 0,该结论与李永平等利用地理探测器探测的适宜植被生长的因子范围结论一致^[19];而对于低海拔的平原地区,地势平坦适合城镇建设和农业活动开展,人类活动和农业活动对环境的干扰和破坏力度大,影响植被的生长。土地利用是人类对生态系统最直接的反映^[20],在研究期间,耕地、建设用地和水域的植被覆盖明显退化所占比例最高,为避免不合理的土地利用破坏生态环境,应加强土地资源的规划和管理,优化用地空间格局,科学合理划定不同功能区域,如保护区、农业区、工业区等,确保土地利用与生态环境相协调。加强对耕地的质量监管,认真把握好农村建设用地复垦的各个环节,确保复垦耕地质量,也可通过修建梯田、种植植被等方式,减少水土流失,保护耕地的土壤肥力。加强土地监管,严格执行土地使用审批制度,防止违规占用和浪费建设用地。加强对流域内工业、农业和生活污水的治理,减少污染物排放,划定和保护重要湿地,发挥其

净化水质、调节水量的作用。

参考文献:

- [1] 申子彬,方 贺,何彩芬,等.2005—2021 年镇海区植被生态时空变化及其气象驱动力分析[J].地理空间信息,2024,22(7):80-83,96.
- [2] 李方方.基于多植被指数时空变化的矿区生态环境监测[D].焦作:河南理工大学,2012.
- [3] 顾 娟,李 新,黄春林.基于时序 MODIS NDVI 的黑河流域土地覆盖分类研究[J].地球科学进展,2010,25(3):317-326.
- [4] 邓向瑞.北京山区森林景观格局及其尺度效应研究[D].北京:北京林业大学,2007.
- [5] 王 震.松材线虫入侵后森林生态系统的遥感动态监测[D].北京:北京林业大学,2007.
- [6] 李朋轩.渭河流域植被动态监测与驱动力分析[J].自然资源信息化,2024(4):41-46.
- [7] 张喜旺,陈云生,孟 琪,等.基于时间序列 MODIS NDVI 的农作物物候信息提取[J].中国农学通报,2018,34(20):158-164.
- [8] 余志巍,刘 强,张宇阳,等.内蒙古不同草地 NDVI 变化及其驱动要素[J/OL].生态学报,2024,(22):1-15 [2024-05-31].<https://doi.org/10.20103/j.stxb.202309182009>.
- [9] 易 扬,胡昕利,史明昌,等.基于 MODIS NDVI 的长江中游区域植被动态及与气候因子的关系[J].生态学报,2021,41(19):7796-7807.
- [10] 方德泉,胡宝清.2000—2016 年广西西江流域植被覆盖时空变化[J].大众科技,2019,21(10):28-31.
- [11] 陈松凡.莆田:助力生态文明 山美水秀人欢[J].政协天地,2019(10):62-63.
- [12] 廖 廓,吴作航,李欣欣,等.莆田市木兰溪流域有效降水量与可利用降水资源分布研究[J].海峡科学,2021(10):13-20,45.
- [13] 徐新良.中国年度植被指数(NDVI)空间分布数据集[M].北京:中国科学院资源环境科学数据中心数据注册与出版系统,2018.
- [14] 王佃来,刘文萍,黄心渊.基于 Sen+Mann-Kendall 的北京植被变化趋势分析[J].计算机工程与应用,2013,49(5):13-17.
- [15] 邓兴耀,姚俊强,刘志辉.基于 GIMMS NDVI 的中亚干旱区植被覆盖时空变化[J].干旱区研究,2017,34(1):10-19.
- [16] 沈文婕,康宇杰,张晓凡,等.大熊猫国家公园(四川片区)植被时空变化及其地形分异研究[J].生态学报,2024,44(20):1-13.
- [17] 徐 雪,罗 娅,杨胜天,等.全球不同气候带陆地植被净初级生产力变化趋势与可持续性[J].生态学报,2023,43(9):3729-3743.
- [18] 杨 林,廖 廓,李欣欣,等.福建木兰溪流域生态系统质量综合评估研究[C]//中国环境科学学会.中国环境科学学会 2022 年科学技术年会论文集(二),2022.
- [19] 李永平,赵晓燕,谈树成,等.川南城市群植被覆盖度时空演变及驱动力[J].水土保持研究,2024,31(5):399-409.
- [20] 马 林,梁 勇,张雅芹,等.基于 RSEI 的山东省不同土地覆盖区生态环境质量变化特征及驱动因素[J].水土保持研究,2024,31(2):389-400.