

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2023.03.003

引用格式:王尚晓,牛晓楠,张洁,等.新安江流域2000—2021年NDVI时空变化特征及其影响因素分析[J].华东地质,2023,44(3):273-281.(WANG S X, NIU X N, ZHANG J, et al. Spatial and temporal variation features of NDVI and its influence factors in the Xin'an River Basin from 2000 to 2021[J]. East China Geology, 2023, 44(3):273-281.)

新安江流域2000—2021年NDVI时空变化特征及其影响因素分析

王尚晓¹,牛晓楠¹,张洁¹,张明¹,宗乐丽¹,黄丁伶²

(1.中国地质调查局南京地质调查中心,江苏南京210016;

2.中国人民解放军陆军工程大学,江苏南京210007)

摘要:新安江流域是长三角地区重要的生态屏障,对该流域的植被覆盖情况进行监测并掌握其动态变化特征,对该区生态环境保护具有重要意义。以新安江流域为研究区,利用2000—2021年MOD13Q1数据,针对归一化植被指数(NDVI)的时空变化特征及其变化的持续性,使用Theil-Sen Median趋势分析、Mann-Kendall检验和Hurst指数等方法进行分析,探讨了NDVI的变化趋势与岩性建造、土地利用类型之间的关系。结果表明:二十多年来,新安江流域的年平均NDVI为0.5~0.9,总体呈波动上升趋势,最大值出现在每年7—9月,最小值出现在每年1—3月,呈现“山地高,丘陵和平原较低”的分布特征。NDVI变化类型以改善型为主,改善型区域面积占比>70%,且以持续改善型为主,其中轻微改善型和明显改善型面积占比达85.71%。第四系和白垩纪红层分布区,NDVI严重退化和轻微退化占比较高,NDVI退化情况较严重的土地利用类型为建设用地、草地和耕地。该研究结果可反映新安江流域NDVI的时空变化特征,对于该区生态环境保护与建设具有一定指导意义。

关键词:新安江流域;时空变化;NDVI;趋势分析;植被覆盖

中图分类号:P237

文献标识码:A

文章编号:2096-1871(2023)03-273-09

植被是生态系统的重要组成部分,在陆地生态系统和能量平衡中发挥着重要作用,能为动植物提供食物和遮荫,维持生物的多样性^[1-3]。归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)最早由ROUSE J等在1973年提出,他们使用像元二分模型将影像中每个像素的反射光处理成NDVI,结果发现该指数与植物的覆盖率和健康状况非常吻合^[4]。后续研究发现NDVI与叶片密度、光合有效辐射和植被生产力呈线性或近线性关系,且因其具有历史悠久、简单、依赖于容易获得的多光谱波段等特征,被认为是监测陆地植被变化的有效指标之一^[5-9]。NDVI对绿色植被和低植被盖度

地区较敏感,一方面可以反映区域植被的分布及变化特征,另一方面可以为区域乃至全球的生态环境研究提供便利^[10-11]。

目前,运用NDVI对区域多年植被覆盖的变化状况进行监测已有较多研究,研究对象集中在全球尺度^[12-14],典型地区研究主要集中在西北地区^[15-16]和长江流域^[17-18],但针对新安江流域NDVI分布变化特征的相关研究则较少。上述研究中常用的分析技术主要为相关分析、偏最小二乘回归和多元回归分析,但由于陆地植被生长响应过程复杂,传统的统计线性模型不能准确描述变量之间的内在关系,规避误差的能力较弱^[19]。因此,本

* 收稿日期:2023-04-26 修订日期:2023-07-07 责任编辑:谭桂丽

基金项目:中国地质调查局“华东地区自然资源动态监测与风险评估(编号:DD20230103)”、“华东地区国土空间用途管制技术支撑与应用服务(编号:DD20230495)”和国家自然科学基金“武功山地区早古生代不同成分花岗岩的成因与地壳熔融机制研究(编号:42002058)”项目联合资助。

第一作者简介:王尚晓,1993年生,男,助理工程师,硕士,主要从事遥感自然资源调查、生态环境评价等工作。Email:wangshangxiao@hotmail.com。

文以 MOD13Q1 NDVI 数据为基础,采用受异常值干扰较小的非线性评价模型,对 2000—2021 年新安江流域 NDVI 数据进行分析,研究该区 NDVI 的时空变化特征、变化趋势及其持续性特征,探究变化的驱动力以及对周边环境的影响,这将有助于更好地理解新安江流域植被覆盖状况,为该流域生态环境管理提供详实的基础资料。

1 研究区概况

新安江发源于安徽省休宁县与江西省婺源县交界处的五股尖山,向东穿越安徽省和浙江省西部,位于钱塘流域上游,流域面积约 1.2 万 km²

(图 1)^[20]。新安江流域属于亚热带季风气候,冬夏季风交替明显,降水量为 900~1 700 mm,水系发达,河网密度高。季风强度年际变化大,易发生干旱、内涝、持续高温或低温等自然灾害^[21-22]。位于新安江流域上游的黄山市是传统的农业区及新型旅游区,地貌多数为丘陵岗地,经过长期的自然保护,森林覆盖率和水源涵养能力均保持较高的水平^[23]。位于新安江流域下游的杭州市是传统的“经济强市”,经济保持快速增长,2000—2010 年连续多年 GDP 保持两位数增长,近十年来累计增长 114.0%,年均增长 7.9%,高于全国 1.2 个百分点^[24-25]。



图 1 新安江流域地理位置图

Fig. 1 Location of Xin'an River Basin

新安江流域内青白口系、南华系、震旦系与下古生界发育完整,出露广泛。其中,奥陶系、志留系为厚度巨大的浅海相碎屑岩建造。上古生界主要分布于流域东部,主要为陆源碎屑-碳酸盐岩建造,呈 NE 向条带状不整合覆于下古生界之上,中生界主要为断陷盆地内沉积的一套陆源碎屑岩红层及白垩系火山岩,分布于流域上游休宁县—徽州区—歙县一带以及下游的建德市^[20]。前寒武纪变质岩包括新元古代浅变质砂岩、千枚岩,发育巨厚的类复理石建造,主要分布于流域上游。新生界不太发育,第四系为晚更新世芜湖组,岩性为一套细粉砂夹砾石的松散沉积物,主要分布在河谷地区^[26]。此外,区内岩浆活动较强,西部出露新元古代基性、超

基性岩和花岗岩类,西北部和东部出露白垩纪花岗岩类。

2 数据源与研究方法

2.1 数据源

本次研究采用的 NDVI 数据源自 MODIS 产品中的 MOD13Q1 数据集,其时间分辨率为 16 d,空间分辨率为 250 m,使用数据的时间为 2000 年 2 月—2021 年 12 月。数据的预处理包括:格式转换、投影变换和裁剪,最终获得覆盖研究区的 503 景数据。

土地利用数据使用 GLC_FCS30 产品,该数据

集利用 Landsat 卫星数据进行变化检测和动态更新,生成了全球 30 m 精细表面覆盖动态监测产品。研究区内的土地利用类型主要有林地、耕地、园地、湿地、草地和建设用地。数据的预处理包括格式转换、裁剪和重采样与 NDVI 同一空间分辨率。

岩性建造数据是在区域 1:20 万地质图的基础上,以其生态属性和资源属性对岩石分类,划分为碎屑岩、第四系松散沉积物、火山岩、变质岩、碳酸盐岩、侵入岩和红层等 7 类地质建造。然后进行栅格化处理,最后将其空间分辨率重采样为 250 m。

2.2 研究方法

2.2.1 NDVI

植被覆盖度和 NDVI 之间存在极显著的线性相关关系,计算公式为

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}}, \quad (1)$$

式中: ρ_{nir} 为近红外波段的反射率; ρ_{red} 为红光波段的反射率。

2.2.2 Theil-Sen Median 趋势分析和 Mann-Kendall 检验

Theil-Sen Median 趋势分析也被称作 Sen 斜率估算,是一种鲁棒性较强的非参数统计的趋势计算方法。这种方法在测量误差、离群数据不敏感时,经常被用于长时序数据的趋势分析。Theil-Sen Median 趋势的计算公式^[27]为

$$S = \text{median} \left(\frac{x_i - x_j}{i - j} \right), 2000 \leq i < j \leq 2021, \quad (2)$$

式中: x_i 和 x_j 为时间序列 NDVI 数据, i 和 j 分别表示 NDVI 的年份; median 表示计算数据组合的斜率中位数; $S > 0$ 表示时间序列数据呈上升趋势; $S < 0$ 表示时间序列数据呈下降趋势。

根据 Theil-Sen Median 趋势分析计算结果,将 S 值为 $-0.0005 \sim 0.0005$ 的区域视作明确的稳定区域;当 S 值 ≥ 0.0005 时,认为该区域的植被得到了改善;当 S 值 < -0.0005 时,认为该区域的植被发生了退化。

Mann-Kendall 检验是一种非参数检验方法,无需样本遵从某一分布,且受异常值干扰较小,更适合用于时序变量的计算^[15]。假设有 n 年的时间序列 NDVI 数据,计算公式为

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(X_j - X_k), \quad (3)$$

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x > 0 \\ 0 & \text{if } x = 0 \\ -1 & \text{if } x < 0 \end{cases}, \quad (4)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{if } X_j - X_k > 0 \\ 0 & \text{if } X_j - X_k = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{if } X_j - X_k < 0 \end{cases}, \quad (5)$$

式中: X_j 和 X_k 分别表示 j 年和 k 年的 NDVI, n 表示时间序列长度; sgn 是符号函数; $\text{VAR}(S)$ 为方差, Z 为最终统计量。

Mann-Kendall 检验计算结果中,如果 Z 绝对值 > 1.96 ,通过 95% 置信度检验,定义为显著;如果 Z 绝对值 ≤ 1.96 ,未通过 95% 置信度检验,定义为不显著。

利用 Theil-Sen Median 趋势分析和 Mann-Kendall 检验的综合分析,可以分析现有的数据趋势,并逐步将其应用于长期序列数据的分析中^[28]。

2.2.3 Hurst 指数

Hurst 指数是描述自相似性和长期依赖性现象的有效途径^[29],基本原理为:NDVI 时间序列 $NDVI_i, i=1,2,3,4,\dots,N$,对于任意正整数 T ,定义该时间序列。

(1) 差分序列

$$\Delta NDVI_i = NDVI_i - NDVI_{i-1}. \quad (6)$$

(2) 均值序列

$$\overline{\Delta NDVI}(T) = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T \Delta NDVI_i, T=1,2,\dots,N. \quad (7)$$

(3) 累计离差

$$X(T) = \sum_{i=1}^T (\Delta NDVI_i - \overline{\Delta NDVI}(T)), 1 \leq T \leq N. \quad (8)$$

(4) 极差

$$R(T) = X(T) \max_{1 \leq T \leq N} - X(T) \min_{1 \leq T \leq N}, (T=1,2,\dots,N). \quad (9)$$

(5) 标准差

$$S(T) = \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (\Delta NDVI_i - \overline{\Delta NDVI}(T))^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (T=1,2,\dots,N). \quad (10)$$

对于比值 $R(T)/S(T) \cong R/S$,若存在 $R/S \propto T^H$ 的关系,说明分析的时间序列存在 Hurst 现象, H 称为 Hurst 指数。

3 评价结果

3.1 NDVI 分布特征

为消除异常值对 NDVI 长期监测的影响,利用均值法获取 2000—2021 年的逐年平均 NDVI 数据,最后得出研究区多年平均 NDVI 分布图(图 2)。可以看出,新安江流域 NDVI 空间分布呈现“山地高,丘陵和平原低”的分布特征。研究区西南部、东北部及皖浙两省交界处,山高林密,人类活动较少,具有较高的 NDVI(年平均 NDVI >0.6)。沟谷两侧山坡上园地分布广泛,主要种植茶叶,因此 NDVI 稍高(年平均 NDVI 为 0.5~0.6)。西北部的安徽省黟县、徽州区、绩溪县,东南部的浙江省建德市等地区为城镇居住区,人类活动和工程建设密集,因此 NDVI 值较低(0.2~0.3),呈条带状分布。靠近城镇的平原区,有农作物种植,年平均 NDVI 为 0.3~0.4。NDVI <0.1 的无植被覆盖区域(红色部分)在研究区分布范围较小,仅零星分布于新安江水库周围,主要是新安江水库水位周期性变化在岸边形成的消落带,常年无植被覆盖,因此,这些区域的 NDVI 值非常低。

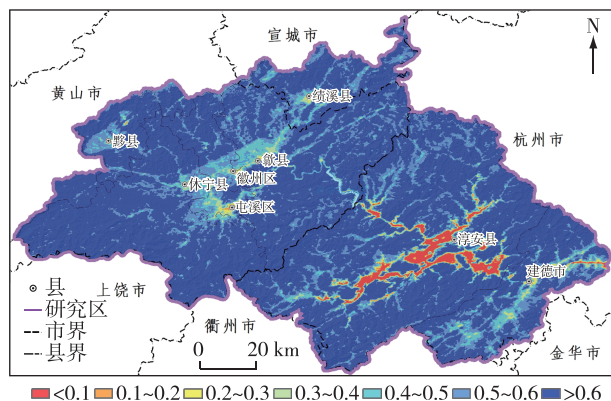


图 2 新安江流域 2000—2021 年平均 NDVI 分布图

Fig. 2 Multi-year average NDVI distribution from 2000 to 2021 in the Xin'an River Basin

根据 2000—2021 年 NDVI 年平均值变化曲线(图 3),研究区 NDVI 为 0.58~0.67,20 多年间 NDVI 虽然有波动,但保持较高的水平,且总体呈上升趋势。

为了研究新安江流域 NDVI 随时间变化的规律,根据 2000—2021 年 NDVI 每一期次的区域平均值,制作 NDVI 日均时序变化图(图 4)。可以看

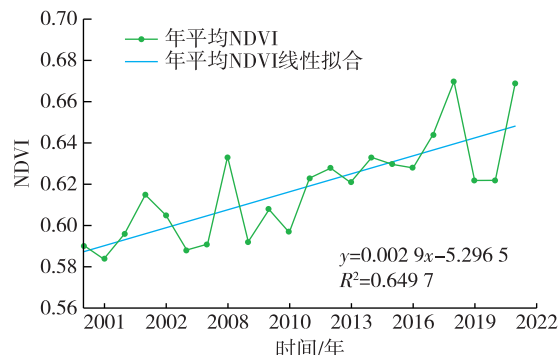


图 3 新安江流域 2000—2021 年 NDVI 年平均值变化曲线

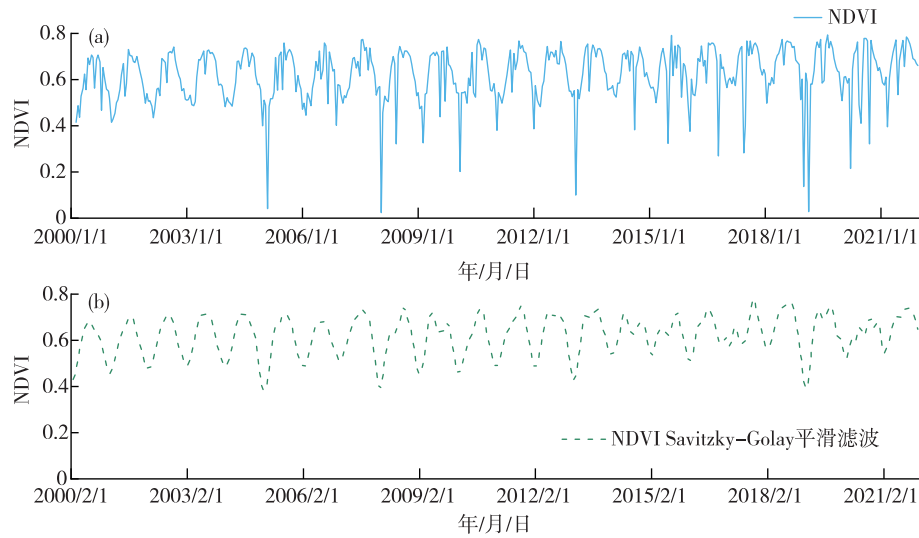
Fig. 3 NDVI change curves from 2000 to 2021 in the Xin'an River Basin

出,新安江流域的 NDVI 在 0.4~0.8 之间呈周期性波动,最大值出现在每年 7—9 月,最小值出现在每年 1—3 月,且随时间变化,波动值逐渐变小(图 4(a))。为了去除异常值的影响,对数据进行 Savitzky-Golay 滤波处理(滑动窗口为 3),结果显示 2013—2021 年的区域 NDVI 波动明显较小,相对高于前一个时间段(图 4(b)),说明该区 NDVI 呈快速增长的趋势,植被整体生长状况开始好转。

3.2 植被覆盖变化趋势

通过将 Theil-Sen Median 趋势分析和 Mann-Kendall 检验得到的分级结果相结合,得出了 NDVI 变化趋势的像元尺度数据。Theil-Sen Median 趋势分析可得到退化、稳定、改善 3 种类型, Mann-Kendall 检验结果中有显著和不显著 2 种类型,将两者综合可划分为明显改善、轻微改善、稳定不变、轻微退化和严重退化 5 种变化类型(图 5)。从划分结果可知,新安江流域地表植被状况在 2000—2021 年普遍改善,且改善面积大于退化面积。其中,植被明显改善的区域分布于研究区大部分地区,轻微改善以及严重退化的区域主要分布于绩溪县和黄山市中部盆地、淳安县东北部丘陵区、建德市中部山间盆地区。

由 NDVI 变化趋势统计表(表 1)可知, NDVI 明显改善的区域占流域总面积的 71.27%,轻微改善的流域占总面积的 20.54%,稳定不变的区域仅占流域总面积的 4.12%,严重退化和轻微退化的区域共计占流域总面积的 4.07%。



(a).原始数据变化曲线图;(b).平滑滤波数据变化曲线图

图 4 新安江流域 2000—2021 年 NDVI 日均时序变化曲线图

Fig. 4 Daily average time series of NDVI temporal changes from 2000 to 2021

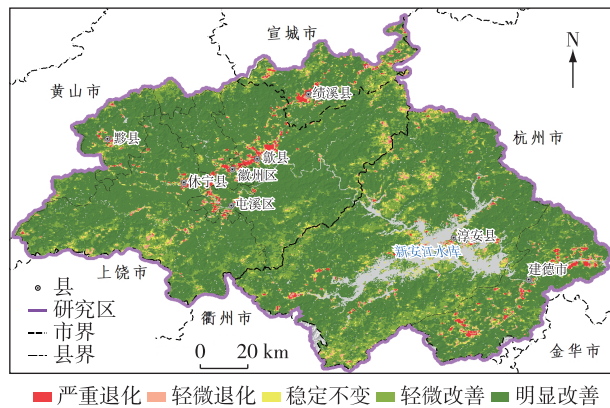


图 5 新安江流域 NDVI 变化趋势图

Fig. 5 Trend of NDVI change

表 1 新安江流域 NDVI 变化趋势统计表

Table 1 Statistics of NDVI chang trends

级别	面积/km ²	占比/%
严重退化	176.69	1.58
轻微退化	278.73	2.49
稳定不变	461.08	4.12
轻微改善	2 297.71	20.54
明显改善	7 971.66	71.27

为了揭示 NDVI 的变化趋势与岩性建造及土地利用类型的相关性,统计了各岩性建造中不同变化趋势类型所占的面积百分比(图 6(a))。由统计

结果可知,火山岩、侵入岩、碎屑岩和碳酸盐岩中不同 NDVI 变化趋势的面积占比相似,明显改善级别面积占比 $>60\%$,改善级别(包含明显改善和轻微改善)的面积占比超过 90% ,严重退化级别面积占比较小;变质岩中 NDVI 明显改善级别面积占比较高($>80\%$);第四系和红层中,严重退化和轻微退化级别面积占比明显增加,研究区第四系的主要成因因为冲洪积、人工堆积层。区内可开发利用土地本身就较少,工程建设开发和农业生产大都发生在第四系分布区,因而造成植被破坏。红层盆地中山坡-山脊土壤层因遭受强烈的侵蚀而多发育较薄或缺失,导致局部地区发生荒漠化,引发水土流失,造成植被退化。由不同土地利用类型中各级别占比统计结果(图 6(b))可知,NDVI 退化情况较严重的土地利用类型为建设用地、草地和耕地,主要是随着经济社会的发展以及人类工程建设、耕种等活动的不断增加,持续性地对地表植被造成破坏;NDVI 改善情况较好的土地利用类型为园地、林地和湿地(NDVI 改善型面积占比均 $>80\%$,退化型的面积占比 $<5\%$),这些土地利用类型本身就有利于维持生物多样性,长时序监测结果进一步表明其植被覆盖状况明显改善,说明研究区生态环境逐渐变好,生态建设取得了积极成效。

为探究 NDVI 变化趋势的持续性,将 Theil-Sen Median 趋势分析和 Mann-Kendall 检验联合得到的

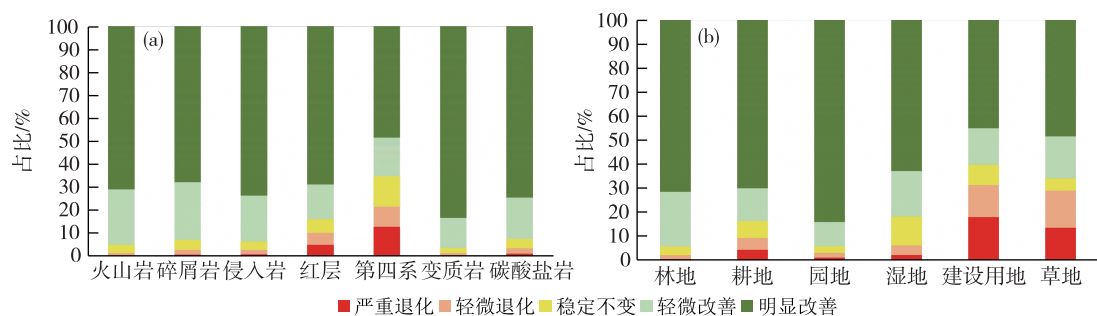


图6 研究区不同岩性建造(a)和土地利用类型(b)的NDVI变化趋势类型占比统计图

Fig. 6 Statistics on the percentage of NDVI trend types in different lithology construction (a) and land use (b)

趋势结果与 Hurst 指数叠加分析,获得变化趋势与持续性的耦合信息(图7)。基于图5得到的5类耦合结果,结合 Hurst 指数对变化结果的持续性判别,

最终可划分为6类情境:趋势不确定、持续性轻微改善、持续性明显改善、持续性稳定不变、持续性轻微退化和持续性严重退化。

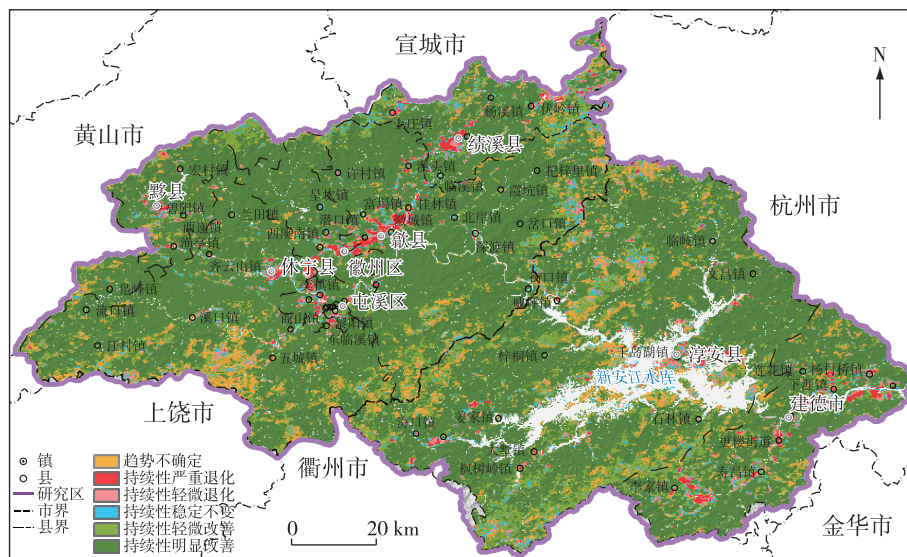


图7 植被NDVI变化趋势持续性分析图

Fig. 7 Persistence analysis of vegetation NDVI trends

NDVI 变化趋势持续性分析表明,NDVI 的变化趋势以持续改善为主,持续性改善(包括持续性明显改善和持续性轻微改善)的面积占比为 85.71%,主要分布在绩溪县—屯溪区两侧的山地丘陵地带、研究区南部的溪口镇、齐云山镇、安徽省与浙江省交界的街口镇、岔口镇、淳安县北部文昌镇和西南部的梓桐镇,得益于丘陵山区的生态环境向好发展,植被覆盖也随之增高;持续性稳定不变的面积占比达 2.96%,主要零散分布在威坪镇、伏岭镇、杞梓里镇和上庄镇等地;持续性退化(包括持续性严重退化和持续性轻微退化)的面积占比为

3.70%,分布在绩溪县城、黄山市区、黟县、淳安县汾口镇、淳安县城、建德市东侧及寿昌县附近,主要受第四系分布区人类活动和中生代红层区脆弱的地质环境影响;7.63%的区域未来变化趋势无法确定,主要分布在研究区中南部的五城镇、东邻溪镇、威坪镇东侧和石林镇以北部分区域,需要持续关注和研究。

3.3 讨论

本研究采用中等空间分辨率长时间序列 MODIS 数据,利用 Theil-Sen Median 趋势分析和 Mann-Kendall 检验以及 Hurst 指数等方法分析新

安江流域NDVI的时空分布及变化趋势特征和可持续性。所采用的方法对数据误差具有较强的抵抗能力,对于显著性水平的检验具有坚实的统计学理论基础,使时序分析结果较科学和可信。NDVI数据能很好地反映植被覆盖时空变化,为分析、评价区域生态环境的时空变化提供可靠的依据,因而本研究结果能够有效地反映新安江流域植被覆盖的变化状况,有助于促进区域生态环境的保护,具有一定的实用性。

因数据源和研究方法的限制,本研究存在一定不足。高空间分辨率卫星数据常因重访周期或成像条件的限制,无法形成密集的影像序列,下一步需使用高精度数据处理算法或时空融合算法得到长时序的影像序列,使用更高精度的卫星遥感数据更细致地研究植被变化。此外,如何将NDVI数据与其他环境数据(如气候数据和环境监测数据)相结合,将有助于更好地理解植被变化机制。

4 结论

(1)新安江流域2000—2021年的NDVI空间分布呈“山地较高,丘陵和平原较低”的分布特征,年平均NDVI为0.58~0.67,植被覆盖状态一直保持较高水平且总体呈上升趋势。NDVI最大值出现在每年7—9月,最小值出现在每年1—3月。

(2)从NDVI变化趋势上分析,研究区NDVI变化类型以改善型为主,明显改善型区域面积占71.27%,严重退化型和轻微退化型面积占4.07%。

(3)基于Hurst指数的分析表明,研究区NDVI变化趋势以持续改善为主,轻微改善和明显改善的面积占85.71%;第四系和白垩纪红层区的严重退化和轻微退化面积占比明显增高,NDVI退化情况较严重的土地利用类型为建设用地、草地和耕地。

参考文献

- [1] LIN M, HOU L, QI Z, et al. Impacts of climate change and human activities on vegetation NDVI in China's Mu Us sandy land during 2000—2019[J]. *Ecological Indicators*, 2022, 142: 109164.
- [2] WANG S, LI R, WU Y, et al. Vegetation dynamics and their response to hydrothermal conditions in Inner Mongolia, China[J]. *Global Ecology and Conservation*, 2022, 34: e02034.
- [3] LI S, YANG S, LIU X, et al. NDVI-based analysis on the influence of climate change and human activities on vegetation restoration in the Shaanxi-Gansu-Ningxia Region, Central China[J]. *Remote Sensing*, 2015, 7 (9): 11163-11182.
- [4] ROUSE J, HAAS R, SCHELL J, et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS [C]//Third ERTS Symposium, NASA, Washington, DC, 1973:309-317.
- [5] LENG S, HUETE A, CLEVERLY J, et al. Assessing the impact of extreme droughts on dryland vegetation by multi-satellite solar-induced chlorophyll fluorescence[J]. *Remote Sensing*, 2022, 14 (7): 1581-1599.
- [6] ZENG J, ZHANG R, QU Y, et al. Improving the drought monitoring capability of VHI at the global scale via ensemble indices for various vegetation types from 2001 to 2018 [J]. *Weather and Climate Extremes*, 2022, 35: 100412.
- [7] DONG Y, YIN D, LI X, et al. Spatial-temporal evolution of vegetation NDVI in association with climatic, environmental and anthropogenic factors in the loess plateau, China during 2000—2015: Quantitative analysis based on geographical detector model[J]. *Remote Sensing*, 2021, 13(21): 4380.
- [8] CHU H, VENEVYSKY S, WU C, et al. NDVI-based vegetation dynamics and its response to climate changes at Amur-Heilongjiang River Basin from 1982 to 2015[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 650: 2051-2062.
- [9] HUANG S, TANG L, HUPY J P, et al. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing[J]. *Journal of Forestry Research*, 2021, 32 (1): 1-6.
- [10] 宗加权,白淑英,冯朝阳,等. 基于连续时间序列NDVI数据的中国生态状况时空变化特征[J]. *水土保持研究*, 2021, 28(1): 132-138.
- [11] ZONG J Q, BAI S Y, FENG C Y, et al. Spatial and temporal characteristics of ecological conditions in China based on continuous time series NDVI data[J]. *Soil and Water Conservation Research*, 2021, 28(1): 132-138.
- [12] JIA W, LIU M, YANG Y, et al. Estimation and uncertainty analyses of grassland biomass in Northern China: Comparison of multiple remote sensing data sources and modeling approaches[J]. *Ecological Indicators*, 2016, 60: 1031-1040.

- [12] 孙红雨, 王长耀, 牛铮. 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, 2(3): 204-210.
SUN H Y, WANG C Y, NIU Z. Changes in surface vegetation cover and its relationship with climate factors in China: An analysis based on NOAA time series data[J]. Journal of Remote Sensing, 1998, 2(3): 204-210.
- [13] FENSHOLT R, PROUD S R. Evaluation of earth observation based global long term vegetation trends—Comparing GIMMS and MODIS global NDVI time series[J]. Remote Sensing of Environment, 2012, 119: 131-147.
- [14] TIAN F, FENSHLOT R, VERBESSELT J, et al. Evaluating temporal consistency of long-term global NDVI datasets for trend analysis[J]. Remote Sensing of Environment, 2015, 163: 326-340.
- [15] 袁丽华, 蒋卫国, 申文明, 等. 2000—2010 年黄河流域植被覆盖的时空变化[J]. 生态学报, 2013, 33(24): 7798-7806.
YUAN L H, JIANG W G, SHEN W M, et al. Spatial and temporal variation of vegetation cover in the Yellow River Basin from 2000 to 2010[J]. Journal of Ecology, 2013, 33(24): 7798-7806.
- [16] 刘咏梅, 李京忠, 夏露. 黄土高原植被覆盖变化动态分析[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2011, 41(6): 1054-1058.
LIU Y M, LI J Z, XIA L. Dynamic analysis of vegetation cover changes on the Loess Plateau[J]. Journal of Northwestern University (Natural Science Edition), 2011, 41(6): 1054-1058.
- [17] 徐勇, 郑志威, 郭振东, 等. 2000—2020 年长江流域植被 NDVI 动态变化及影响因素探测[J]. 环境科学, 2022, 43(7): 3730-3740.
XU Y, ZHENG Z W, GUO Z D, et al. Detection of NDVI dynamics of vegetation in the Yangtze River basin from 2000 to 2020 and the influencing factors[J]. Environmental Science, 2022, 43(7): 3730-3740.
- [18] 杨啸. 基于时序 NDVI 的湖北省植被覆盖动态变化监测分析[J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(2): 195-205.
YANG X. Monitoring of vegetation cover dynamics in Hubei Province based on time-series NDVI [J]. Yangtze River Basin Resources and Environment, 2013, 22(2): 195-205.
- [19] HEIN L, DE RIDDER N, HIERNAUX P, et al. Desertification in the Sahel: Towards better accounting for ecosystem dynamics in the interpretation of remote sensing images[J]. Journal of Arid Environments, 2011, 75(11): 1164-1172.
- [20] 唐志敏, 张晓东, 张明, 等. 新安江流域土壤元素地球化学特征: 来自岩石建造类型的约束[J]. 华东地质, 2023, 44(2): 172-185.
TANG Z M, ZHANG X D, ZHANG M, et al. Geochemical characteristics of soil elements in the Xin'anjiang River Basin: Constraints from rock construction types[J]. East China Geology, 2023, 44(2): 172-185.
- [21] 田福金, 马青山, 张明, 等. 基于主成分分析和熵权法的新安江流域水质评价[J]. 中国地质, 2023, 50(2): 495-505.
TIAN F J, MA Q S, ZHANG M, et al. Water quality evaluation of Xin'an River Basin based on principal component analysis and entropy weight method[J]. Geology of China, 2023, 50(2): 495-505.
- [22] 曹芳芳, 李雪, 王东, 等. 新安江流域土地利用结构对水质的影响[J]. 环境科学, 2013, 34(7): 2582-2587.
CAO F F, LI X, WANG D, et al. Impact of land use structure on water quality in the Xin'an River Basin [J]. Environmental Science, 2013, 34(7): 2582-2587.
- [23] 天娜. 黄山市旅游资源开发与可持续发展研究[D]. 芜湖: 安徽师范大学, 2014.
TIAN N. Research on the development and sustainable development of tourism resources in Huangshan City [D]. Wuhu: Anhui Normal University, 2014.
- [24] 徐鹏伟, 赵多. 基于 RS 和 GIS 的杭州城市生态环境质量综合评价技术[J]. 应用生态学报, 2006, 17(6): 1034-1038.
XU P W, ZHAO D. RS-and GIS-based comprehensive evaluation technology for urban ecological environment quality in Hangzhou[J]. Journal of Applied Ecology, 2006, 17(6): 1034-1038.
- [25] 杭州发布经济社会发展报告 城市经济实力大步跃升[N/OL]. 2021-07-01[2023-04-10]. <http://zj.sina.com.cn/news/2021-07-01/detail-ikqcfnc4312917.shtml>.
- [26] 中国地质调查局南京地质调查中心. 华东地区自然资源综合调查成果报告[R]. 南京: 中国地质调查局南京地质调查中心, 2021: 41-42.
Nanjing Center, China Geological Survey. Report on the results of the comprehensive survey of natural resources in East China [R]. Nanjing: Nanjing Center, China Geological Survey, 2021: 41-42.
- [27] SANDHOLT I, RASMUSSEN K, ANDERSEN J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index difference for the interpretation of remote sensing images[J]. Journal of Arid Environments, 2011, 75(11): 1164-1172.

- tation index space for assessment of surface moisture status[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 79: 213-224.
- [28] FENG T, RASMUS F, JAN V, et al. Evaluating temporal consistency of long-term global NDVI datasets for trend analysis[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2015, 163: 326-340.
- [29] 侯西勇, 应兰兰, 高猛, 等. 1998—2008 年中国东部沿海植被覆盖变化特征[J]. *地理科学*, 2010, 30(5): 735-741.
- HOU X Y, YING L L, GAO M, et al. Characteristics of vegetation cover change in eastern coastal China from 1998 to 2008 [J]. *Geoscience*, 2010, 30 (5): 735-741.

Spatial and temporal variation features of NDVI and its influence factors in the Xin'an River Basin from 2000 to 2021

WANG Shangxiao¹, NIU Xiaonan¹, ZHANG Jie¹, ZHANG Ming¹, ZONG Leli¹, HUANG Dingling²

(1. *Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China*;

2. *Army Engineering University of PLA, Nanjing 210007, Jiangsu, China*)

Abstract: As a pivotal ecological safeguard in the Yangtze River Delta, the Xin'an River Basin necessitates rigorous surveillance over its vegetation coverage to fully comprehend its shifting characteristics, which is of great significance to the local ecological environment protection. Taking Xin'an River Basin as a case, our study adopts MOD13Q1 data from 2000 to 2021 to unveil the spatial-temporal variability of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and its persistence of the change through the application of Theil-Sen Median trend analysis, the Mann-Kendall test and Hurst. Furthermore, the study decodes the relationship between NDVI trends, lithology construction, and diverse land usage types. The findings illustrated that the average annual NDVI within the Xin'an River Basin spanned from 0.5 to 0.9 for over two decades, exhibiting a generally upward ebb and flow trend. The pinnacle was recorded during July to September, while the low ebb occurred from January to March, reflecting a distinct "high in mountains, low in hills and plains" distribution characteristics. The NDVI changes are dominated by improvement type, especially the continuous improvement, accounting for over 70% of the local area, among which 85.71% of the area were slightly and significantly improved. Upon investigation of the Quaternary and Cretaceous red layer distributed area, the study found a higher proportion of substantial and slight NDVI degradation. Land types suffering pronounced NDVI degradation were construction land, grassland, and cropland, respectively. The conclusions drawn from our research elucidate the spatial-temporal NDVI fluctuations in the Xin'an River Basin, bearing substantial implications for ecological preservation and development in the region.

Key words: Xin'an River Basin; spatial and temporal variation; NDVI; trend analysis; vegetation cover