

# 人类活动对 2000—2020 年鄱阳湖流域 陆地植被覆盖变化的影响

刘婷婷<sup>1</sup>, 杨晓霞<sup>1</sup>, 叶许春<sup>1</sup>, 吴娟<sup>1</sup>, 刘佳<sup>2</sup>

(1.西南大学 地理科学学院, 重庆 400715; 2.中国水利水电科学研究院/流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038)

**摘要:** [目的] 研究人类活动对近年来鄱阳湖流域陆地植被覆盖变化的作用机制, 为推动该流域乃至长江流域生态系统健康发展提供理论依据。[方法] 基于鄱阳湖流域最新 MODIS 增强型植被指数 (EVI) 数据产品, 并结合气象数据以及土地利用和人口数据, 采用趋势分析、残差分析、相关分析等方法, 分析研究区 2000—2020 年流域陆地植被覆盖变化特征, 深入探讨了人类活动作用的影响机制。[结果] 近 20 a 来鄱阳湖流域地表植被状况明显改善, 植被 EVI 呈显著上升趋势 ( $p < 0.05$ ); 流域人类活动整体对植被 EVI 的增加起着重要的促进作用。在城镇化新扩张区域表现出明显的抑制作用; 在流域尺度上, 人类活动对 EVI 增长的贡献率达到 32.48%, 不同子流域间人类活动的平均贡献率为 30%~43%。鄱阳湖流域植被 EVI 及其残差趋势在人口密度增加 0~100 人/km<sup>2</sup> 和 400~500 人/km<sup>2</sup> 时, 分别出现了一个峰值。这一结果主要得益于近年来江西省社会经济快速发展和生态文明建设理念的驱动, 广大乡村地区人口密度的小幅增加 (0~100 人/km<sup>2</sup>) 比单纯的人口流失区更能有效改善地表植被状况。与此同时, 城市区域人口密度增加幅度在一定区间时 (400~500 人/km<sup>2</sup>) 也能促进地表植被状况的改善。[结论] 人类活动是地表植被覆盖变化的重要促进因素, 高质量发展中的“绿色”“协调”理念对生态环境的改善至关重要。

**关键词:** EVI; 时空变化; 驱动机制; 人类活动; 气候变化; 鄱阳湖流域

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2022)04-0320-10

**中图分类号:** Q948

**文献参数:** 刘婷婷, 杨晓霞, 叶许春, 等. 人类活动对 2000—2020 年鄱阳湖流域陆地植被覆盖变化的影响 [J]. 水土保持通报, 2022, 42(4): 320-329. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.04.040; Liu Tingting, Yang Xiaoxia, Ye Xuchun, et al. Effects of human activities on terrestrial vegetation coverage change of Poyang Lake basin during 2000—2020 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(4): 320-329.

## Effects of Human Activities on Terrestrial Vegetation Coverage Change of Poyang Lake Basin During 2000—2020

Liu Tingting<sup>1</sup>, Yang Xiaoxia<sup>1</sup>, Ye Xuchun<sup>1</sup>, Wu Juan<sup>1</sup>, Liu Jia<sup>2</sup>

(1.School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715,

China; 2.State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River

Basin/China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

**Abstract:** [Objective] The mechanism on how human activities affect vegetation dynamics was studied in order to promote the healthy development of terrestrial ecosystems. [Methods] Based on the latest MODIS enhanced vegetation index (EVI) products, meteorological data, land use data, and population data for the Poyang Lake basin, we analyzed how human activities drove changes in vegetation coverage during 2000—2020 by using the methods of trend analysis, residual analysis, and correlation analysis. [Results] The surface vegetation of the Poyang Lake basin increased remarkably in the past 20 years, and EVI showed a significant increasing trend ( $p < 0.05$ ). Human activities in the basin generally played an important role in increasing EVI, but also showed an obvious inhibitory effect on EVI in areas where urbanization had expanded. At the basin scale, the contribution rate of human activities to EVI growth was 32.48%, and the average contribution

收稿日期: 2022-01-13

修回日期: 2022-02-28

资助项目: 国家自然科学基金项目“通江湖泊水文变异的复合驱动机制及洪泛湿地生态效应”(42071028); 国家重点研发计划项目(2017YFC1502405)

第一作者: 刘婷婷(1997—), 女(汉族), 湖南省邵阳市人, 硕士研究生, 研究方向为生态遥感。Email: 549805838@qq.com。

通讯作者: 叶许春(1982—), 男(汉族), 安徽省潜山市人, 博士, 教授, 主要从事水文水资源演变机理及生态效应研究。Email: yxch2500@163.com。

rate of human activities among different sub-basins was 30%~43%. EVI and its residual trend reached peak values when the population density in the Poyang Lake basin increased by 0~100 people/km<sup>2</sup> and 400~500 people/km<sup>2</sup>, respectively. This was mainly driven by rapid social and economic development and the concept of ecological civilization construction in Jiangxi Province in recent years. A small increase in population density (0~100 people/km<sup>2</sup>) in the vast rural areas could effectively improve the surface vegetation status more than in the pure population loss areas. At the same time, a population density increase in urban areas within a certain range (400~500 people/km<sup>2</sup>) could also increase surface vegetation. [Conclusion] Human activities are an important factor for changing surface vegetation coverage. The concepts of “green” and “coordination” in high-quality development are very important for improving the ecological environment.

**Keywords: EVI; spatio-temporal variation; driving mechanism; human activities; climate change; Poyang Lake basin**

随着气候变化和人类活动的不断加剧,全球自然生态系统已受到严重威胁<sup>[1]</sup>。植被作为陆地生态系统的主体,对全球的能量平衡、生物化学循环、水循环等起着调控作用<sup>[2]</sup>。在全球变化研究中,植被变化的动态监测及其驱动机制一直备受重视。植被生长受气候条件以及下垫面人类活动的影响,其动态变化过程相当复杂<sup>[3-5]</sup>。气候条件直接决定了一个区域的水热分配状况,是影响植被生长的根本条件<sup>[6-7]</sup>。然而,人类活动作用如造林/毁林、城市化发展、工程建设、生态修复等,会对植被生长产生抑制或促进的影响,引起地表植被在短期内发生剧烈的变化<sup>[8-10]</sup>,对生态系统恢复和健康发展起着关键作用。因此,科学认识人类活动对地表植被变化的作用机制,从而制定适应战略以应对气候变化和人类活动对生态系统的威胁非常重要。

植被指数能够有效反映一定时间内植被覆盖程度和植被生长情况,被广泛应用于植被动态变化研究中。其中,基于遥感技术的归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)和增强型植被指数(enhanced vegetation index, EVI)在近年来的生态、环境、农业等领域的植被覆盖变化监测中发挥着重要作用<sup>[11-12]</sup>。前人研究中,将植被动态与气候因子联系起来以揭示气候变化对植被的影响受到普遍关注。然而,气候对于不同区域植被变化的具体影响则由局地气候条件所决定。已有研究表明,北半球中高纬度气温升高引起植被活动的增加<sup>[13]</sup>。中国干旱半干旱地区的植被生长受降水影响突出<sup>[14-15]</sup>,在亚热带的长江流域,温度是决定植被覆盖的控制因子<sup>[16-17]</sup>。此外,不少学者通过分离气候因子和人类活动相对作用的方法对植被动态变化的驱动机制开展了定量区分研究。例如,刘斌等<sup>[18]</sup>采用残差分析的方法研究了气候变化和人类活动对华北地区植被覆盖变化及其影响因子的相对作用,指出在华北地区无论是植被改善区域还是退化区域,人类活动均起了主

导作用。同样,金凯等<sup>[19]</sup>对 1982—2015 年中国植被 NDVI 变化驱动因素开展了定量研究,其结果表明,气候变化和人类活动分别对中国近 34 a 来植被 NDVI 的增加贡献了 40%和 60%;人类活动贡献率超过 80%的区域主要集中在黄土高原中部、华北平原以及中国东北和西南等地。此外,Piao 等<sup>[20]</sup>采用预测模型对不同驱动力条件下的植被变化进行了定量模拟研究。以上研究,对客观认识变化环境下陆地生态系统演变和区域生态平衡发展具有重要意义。然而,当前研究中大多采用回归分析、相关性分析等方法揭示驱动因子特别是气候因子的作用机制,但容易忽略要素之间的关联性和耦合性以及驱动因子作用的空间差异性。有关植被变化的驱动力定量研究相对薄弱,而其中人类活动作用的分析往往过于简单和笼统,未能深入分析社会经济发展对区域植被覆盖变化的影响。

鄱阳湖流域是典型的亚热带山地生态系统,对于维系长江中下游生态安全和经济社会可持续发展具有重要意义<sup>[21]</sup>。近几十年以来,在气候变化的大背景下,鄱阳湖流域社会经济快速发展,城市化进程加快,生态工程大规模实施,这一过程将不可避免地对接流域生态系统产生重要影响。作为当前国家和地方正在实施的“山江湖”综合开发战略和环鄱阳湖生态经济建设的重要区域,迫切需要系统认识流域植被覆盖变化的基本特征与驱动机制,客观评价气候和人类活动对接流域陆地生态系统动态变化的潜在影响,科学认识社会经济建设与自然环境协调发展之间的关系。基于此,本文以 2000—2020 年鄱阳湖流域最新 MODIS 增强型植被指数(EVI)数据产品为基础,对接流域陆地植被覆盖度变化特征及其驱动机制进行了综合定量研究。与以往相关研究不同,本文在对接流域陆地植被覆盖度变化的气候和人类活动驱动因素定量区分的基础上,重点分析了流域人类活动的作用机制,探讨了近年来流域社会经济和生态建设协调发展

的关系。研究结果对客观认识陆地生态系统对外界环境变化的响应机制,促进区域生态环境的监测和保护、推动鄱阳湖流域乃至长江流域生态系统健康发展具有重要的科学和理论意义。

## 1 数据与方法

### 1.1 研究区概况

鄱阳湖流域(24°29′—30°05′N, 113°35′—118°29′E)是长江中下游重要的子流域,北临长江,东、南、西三面环山,流域内水系众多,赣江、抚河、信江、饶河、修水分别从南、东、西三面汇入鄱阳湖,构成“山—江—湖”为一体的核心—边缘结构体系。鄱阳湖流域面积  $1.62 \times 10^5 \text{ km}^2$ ,约占长江流域面积的 9%,其中 97%的面积位于江西省境内。作为典型的山地流域,山地丘陵占流域面积的 78%,岗地平原占 22%。流域地处亚热带湿润季风气候区,多年平均降水量为 1 713.8 mm,多年平均气温 18.2 °C。独特的自然地理条件造就了鄱阳湖流域物种资源丰富、生态环境复杂的特征,是中国 17 个具有全球意义的生物多样性关键地区之一。

### 1.2 数据来源及处理

1.2.1 植被数据(EVI) 相较于 NDVI,增强型植被指数(EVI)改进了算法和合成方法,减小了大气、土壤背景和异常值的影响,克服了 NDVI 易饱和的问题,不仅能更好地反映植被生长高覆盖度区域的季节性变化,且在植被稀疏地区具有更强的植被区分能力<sup>[22-23]</sup>。鄱阳湖流域地处亚热带湿润季风气候区,植被覆盖度高,为客观地反映流域植被生长变化情况,本研究选用增强型植被指数(EVI)进行相关分析。研究所用 EVI 数据源于美国国家航天局(NASA)发布的 MOD13Q1 数据产品。数据时间跨度为 2000—2020 年,空间分辨率为 250 m,时间分辨率 16 d。研究中,运用 MRT 和 ArcGIS 等软件对数据进行拼接、投影转换和剪裁等处理,获得鄱阳湖流域植被覆盖数据。同时,为了减少误差和便于计算,采用最大值合成法(maximum value composite, MVC)合成月 EVI 数据,在此基础上采用均值法进一步得到年尺度 EVI 数据。

1.2.2 气象数据 气象数据源于中国气象科学数据共享服务网(<http://data.cma.cn>),包括鄱阳湖流域及其周边 29 个地面气象站点 2000—2020 年的日平均气温、降水量和日照时数。使用前采用均一性和一致性检验等方法对原始数据进行了严格的质量控制,并对部分站点的缺测数据进行均值插补处理。同时,

为确保气象数据与植被覆盖数据在空间上的匹配,运用 ANUSPLINE 软件对气候因子进行插值,统一生成 250 m 栅格数据。

1.2.3 土地利用与人口数据 土地利用数据和人口数据分别源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/>)和美国国家航空航天局(NASA)社会经济数据和应用中心(<https://sedac.ciesin.columbia.edu>)。其中,土地利用数据选用 2000 年和 2018 年数据集,空间分辨率为 30 m,包括耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 个一级类型;人口数据包括 2000 和 2020 年人口空间分布 1 km×1 km 网格数据集,空间分辨率为 1 km,每个像元中的数值表示每 1 km<sup>2</sup> 的人口。为便于后续分析,对土地利用和人口空间分布数据均进行裁剪、重采样等,与 EVI 数据分辨率保持一致。

### 1.3 研究方法

1.3.1 趋势分析 采用 Sen 斜率分析法研究 EVI 的时间变化趋势,该方法是著名的非参数线性回归检验法,可以有效避免时间序列数据缺失、数据分布形态以及异常值的影响<sup>[24]</sup>,计算公式为:

$$\beta = \text{median} \frac{EVI_i - EVI_j}{i - j} \quad (1 < i < j < n) \quad (1)$$

式中: $\beta$  为线性趋势率; $i, j$  为时间序列数; $EVI_i, EVI_j$  分别为  $i, j$  时间序列的 EVI 值。当  $\beta$  大于 0 时表示 EVI 呈增长趋势,反之则呈退化趋势。此外,采用 M-K 法对 EVI 趋势显著性进行检验。

1.3.2 残差分析 残差分析法,由 Evans 和 Geerken 提出<sup>[25]</sup>,是当前植被动态变化驱动因素相对贡献定量区分研究的最常用方法<sup>[18-19, 26-27]</sup>。该方法一般基于像元尺度,通过对植被 EVI 与气候指标做回归分析,从而得到每个像元 EVI 的预测值,该预测值可以视为气候因子对 EVI 的影响,然后利用遥感观测的 EVI 真实值减去 EVI 预测值,就得到了人类活动对 EVI 的影响。前人的相关研究中,气候指标的选择大多采用降水和气温两个因子<sup>[19, 26, 10]</sup>。本研究除降水和气温两个因子外,还考虑了太阳辐射对植被生长的潜在作用。具体计算公式为:

$$EVI_{\text{sim}} = \alpha \times T + \beta \times P + \gamma \times S + c \quad (2)$$

$$EVI_{\text{res}} = EVI_{\text{obs}} - EVI_{\text{sim}} \quad (3)$$

式中: $\alpha, \beta, \gamma, c$  为多元线性回归模型参数; $T, P$  和  $S$  分别为年平均气温、年总降水量和年总辐射量; $EVI_{\text{sim}}, EVI_{\text{obs}}$  分别指基于回归模型的 EVI 预测值和基于遥感影像的 EVI 观测值; $EVI_{\text{res}}$  为残差,当



$EVI_{res} > 0$  时,表示人类活动对 EVI 变化产生正面影响,当  $EVI_{res} < 0$ ,表示人类活动对 EVI 变化产生负面影响。

气候变化和人类活动对植被 EVI 相对贡献的计算参考文献<sup>[18,27]</sup>:

(1) 当 EVI 观测值趋势和残差趋势均大于 0 或者均小于 0 时,气候变化和人类活动对植被的相对作用计算方法为:

$$\eta_{clim} = \frac{|\Delta EVI_{clim}|}{|\Delta EVI_{clim}| + |\Delta EVI_{hum}|} \times 100\% \quad (4)$$

$$\eta_{hum} = \frac{|\Delta EVI_{hum}|}{|\Delta EVI_{clim}| + |\Delta EVI_{hum}|} \times 100\% \quad (5)$$

式中: $\eta_{clim}$ 、 $\eta_{hum}$  分别为气候变化和人类活动的相对作用; $|\Delta EVI_{clim}|$  表示研究时段 2000—2020 年内预测值间的差值; $|\Delta EVI_{hum}|$  表示残差值间的差值。

(2) 当 EVI 观测值趋势大于 0 且残差趋势小于 0 或 EVI 观测值趋势小于 0 且残差趋势大于 0 时,均表示植被受气候变化的影响,相对作用为 100%;

(3) 当 EVI 观测值趋势小于 0 且残差趋势大于 0 或者 EVI 观测值趋势大于 0 且残差趋势小于 0 时,均表示植被受人类活动的影响,相对作用为 100%。

## 2 结果分析

### 2.1 鄱阳湖流域 EVI 时空变化特征

2000—2020 年鄱阳湖流域陆地植被 EVI 呈显著上升趋势( $p < 0.05$ ),年际变化趋势率为 0.037/10 a (图 1)。EVI 多年平均值为 0.37,年均 EVI 最小值为 0.34,出现在 2000 年,最大值为 0.42,出现在 2017 年。EVI 变化过程大致可分为 3 个阶段:2000—2007 年稳步增加阶段;2008—2015 年波动中增加阶段,以及 2016—2020 年先上升后下降的剧烈波动阶段。

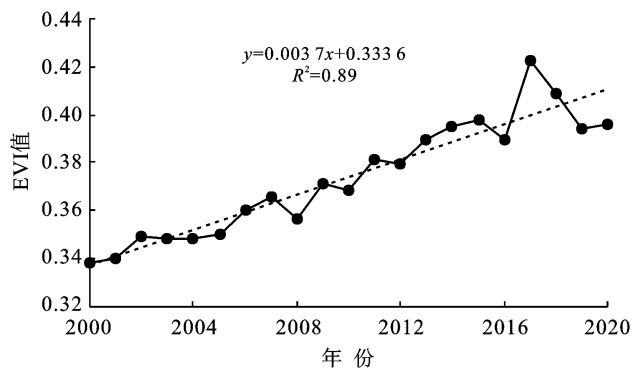


图 1 鄱阳湖流域 2000—2020 年陆地植被 EVI 年际变化趋势

图 2 显示了基于 Sen 方法计算的 2000—2020 年 EVI 年际变化趋势率的空间分布。由图 2 可知,研究

时段内,鄱阳湖流域绝大部分地方 EVI 呈增加趋势,局部地方 EVI 表现出下降趋势。EVI 增加和下降的区域面积分别占流域总面积的 90.0% 和 3.1%。就显著性结果来看,EVI 呈显著增长的区域面积约占全流域的 79.9%,而显著退化区域面积仅占 1.6%。空间上,EVI 增长区域在流域西部和东南部山区最为突出,特别是抚河上游流域和赣江中部流域,而植被退化区域在流域内零星分布于“五河”河谷地带以及鄱阳湖周边平原地区。整个鄱阳湖流域陆地植被 EVI 变异系数( $C_v$ )范围介于 0.02~0.25 之间,平均值为 0.09。根据流域植被  $C_v$  值域分布情况,将流域植被年际变化分为弱变异( $C_v < 0.05$ )、较弱变异( $0.05 \leq C_v < 0.1$ )、中等变异( $0.1 < C_v \leq 0.15$ )、较强变异( $0.15 < C_v \leq 0.2$ )和强变异( $C_v > 0.2$ )5 个不同等级。统计结果显示,鄱阳湖流域陆地植被 EVI 的  $C_v$  值在 0.1~0.15 之间面积占比为 27.21%,在 0.05~0.1 之间面积占比为 65.38%, $C_v < 0.05$  和  $C_v > 0.15$  的面积仅占流域总面积的 3.34% 和 1.03% (图 2)。整体上,流域植被覆盖度年际变化存在一定的波动,以较弱变异为主。EVI 较强变异和强变异区的分布与植被退化区高度一致,说明气候变化和人类活动对这一区域植被生长产生强烈的抑制作用。

### 2.2 土地利用变化及其与植被覆盖度的关系

图 3 显示了鄱阳湖流域 2000 年和 2018 年土地利用类型空间分布特征以及不同地类间的转换,具体的土地利用转移结果详见表 1。土地利用变化分析表明,鄱阳湖流域 2000—2018 年间耕地、林地、草地和未利用地面积均有所减少,而建设用地和水域面积有所增加。流域内发生土地利用类型转换的总面积约 18 409 km<sup>2</sup>,占流域总面积的 11.6%。不同土地利用类型间的转移主要表现为从耕地和草地到林地,以及从林地、水域和建设用地到耕地两种主要类型的转变。转入的土地类型主要是耕地和林地,其中耕地和草地转为林地的面积分别为 4 464 和 1 017 km<sup>2</sup>,林地、水域和建设用地转为耕地的面积分别为 4 730, 605 和 529 km<sup>2</sup>。值得注意的是流域建设用地面积增加最为明显,20 a 间净增加面积高达 2 383 km<sup>2</sup>,远高于耕地(-1 009 km<sup>2</sup>)、林地(-1 242 km<sup>2</sup>)、未利用土地(-412 km<sup>2</sup>)和水域(349 km<sup>2</sup>)的面积变化。建设用地面积的扩张主要从耕地和林地转入而来。此外,流域内水域面积净增加 349 km<sup>2</sup>,集中分布在鄱阳湖区周边(图 3),大多从耕地转入。以上结果反映出鄱阳湖流域近年来土地利用变化过程明显受到城市化进程的影响,与此同时,鄱阳湖区退田还湖效果显著。



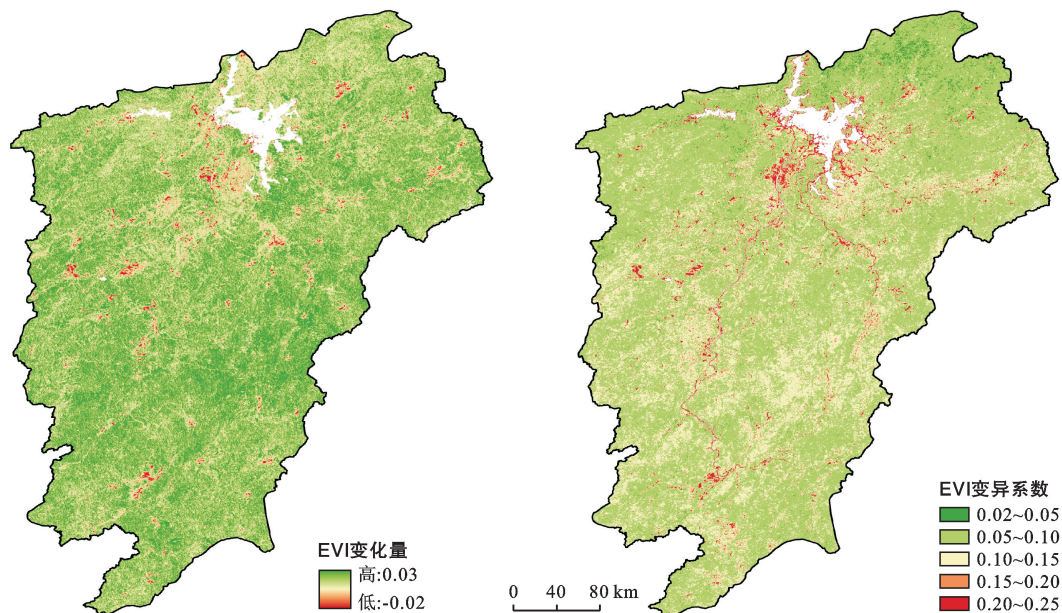


图 2 鄱阳湖流域 2000—2020 年陆地植被 EVI 变化趋势

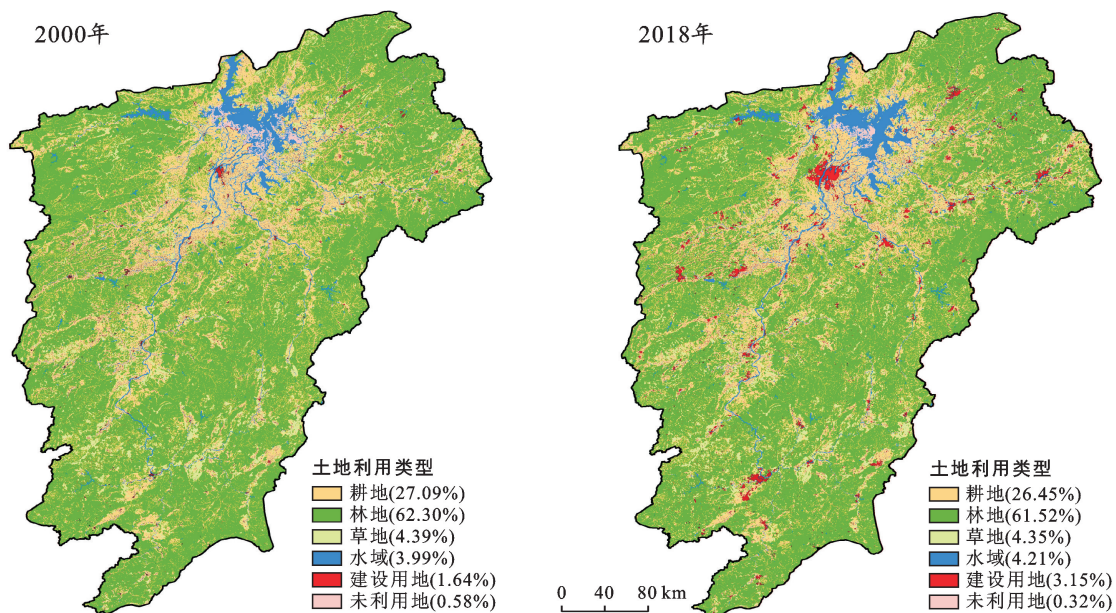


图 3 鄱阳湖流域 2000 和 2018 年土地利用空间分布及不同地类间的转换

表 1 鄱阳湖流域 2000—2018 年土地利用转移矩阵

km<sup>2</sup>

土地利用类型	2018 年面积						总计
	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	
2000 年面积							
耕地	35 698	4 464	405	567	1 910	11	43 055
林地	4 730	91 864	1 149	293	913	2	98 951
草地	468	1 017	5 285	52	140	1	6 963
水域	605	250	37	5 257	118	73	6 340
建设用地	529	110	15	45	1 909	3	2 611
未利用地	16	4	3	475	4	423	925
总计	42 046	97 709	6 894	6 689	4 994	513	158 845
净增减	-1 009	-1 242	-69	349	2 383	-412	—

图 4 显示了流域内土地利用未变区和土地利用变化区内各土地利用类型的 EVI 趋势值。由图 4 可

知,土地利用类型未变区域各土地利用类型 EVI 值均表现出增加趋势,其中以林地和草地的增加趋势最

为突出;土地利用类型发生变化的区域,除转为建设用地的区域植被 EVI 呈减少趋势以外,其余也都表现为增加趋势。残差趋势的变化与 EVI 变化趋势具有一致性。在土地利用类型未发生变化的情况下,植被 EVI 的变化主要受气候和其他人为活动的影响,

这种影响均表现为正向的促进作用。然而,在土地利用类型转变为建设用地的区域,人类活动对地表植被 EVI 起到明显的负面作用。研究区内,建设用地主要是在城镇化的扩张当中,人为开发耕地和林地而来,必然导致所在区域地表植被的破坏,植被覆盖度降低。

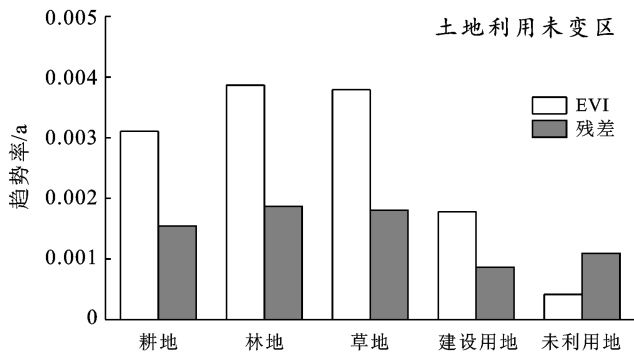
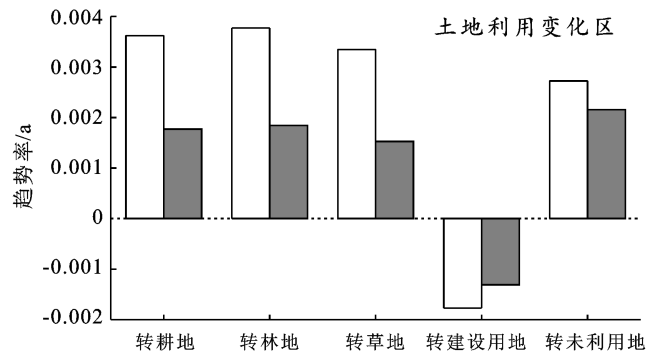


图 4 鄱阳湖流域不同土地利用类型 EVI 未变区内统计值



### 2.3 人口密度变化及其与植被覆盖度的关系

随着城市化进程的加快,近 20 a 来鄱阳湖流域人口密度的空间分布也发生了明显变化。如图 5 所示,2000 和 2020 年平均情况下,鄱阳湖流域人口相对集中在鄱阳湖平原周边的南昌、新余、抚州和上饶

等地,南部赣州等城市所在地也较大。除流域边缘局部地域外,2000—2020 年间鄱阳湖流域人口密度呈现普遍的增加趋势,所有重点城市人口密度增加明显,特别是南昌市及其周边地区人口密度增加十分突出,最大可达 600 人/km<sup>2</sup>(图 5)。

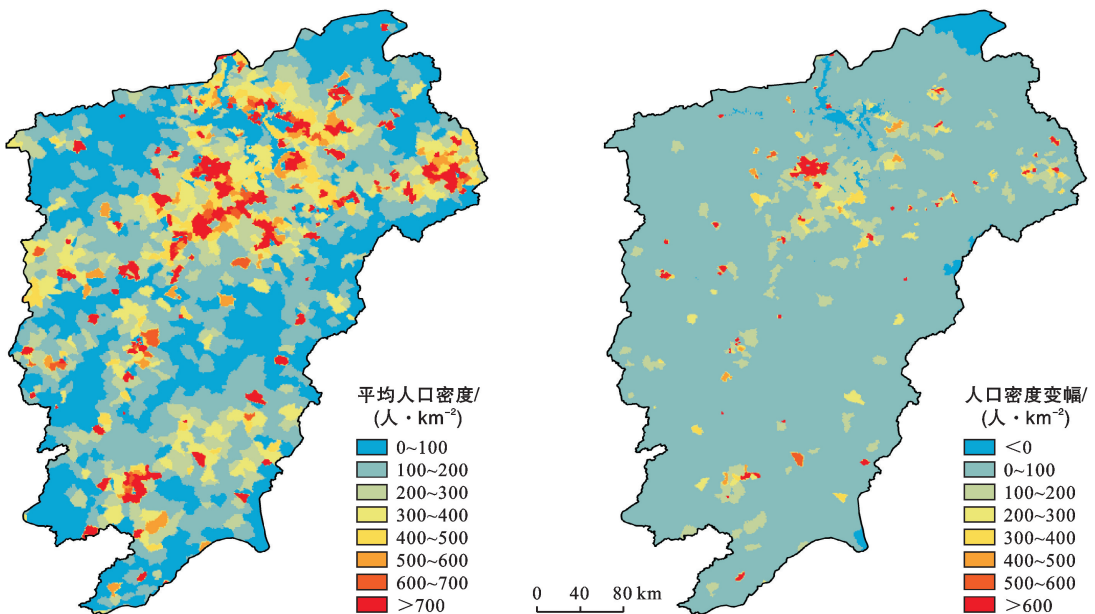


图 5 鄱阳湖流域 2000 和 2020 年平均人口密度及人口密度变化

比较分析不同等级人口密度和人口密度变化情况下的 EVI 及其残差趋势(图 6)可知,鄱阳湖流域 EVI 及其残差趋势随着人口密度的增加而下降,但在平均人口密度 100~200 人/km<sup>2</sup> 的范围内时,年 EVI 及其残差趋势达到最大值;流域人口密度变化 0~

100 人/km<sup>2</sup>, 400~500 人/km<sup>2</sup> 时,植被 EVI 及其残差趋势均分别出现了一个峰值,表明在流域人口密度较低的地区,植被覆盖的增加趋势越明显,同时人类活动对植被的影响越小,而人口密度越大的地区,植被覆盖的增加趋势越小,人类活动对植被生长的影响



越大。此外,人口密度的小幅增加地区比单纯的人口流失地区更能有效改善地表植被状况;与此同时,当

区域人口密度增大到一定区间时,也能促进地表植被状况的改善。

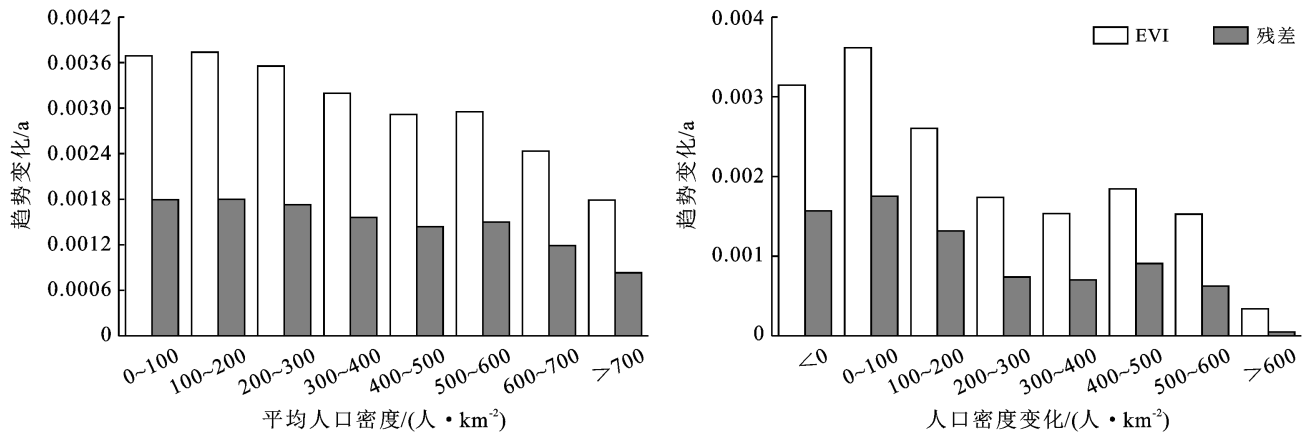


图 6 鄱阳湖流域 2000—2020 年平均人口密度及人口密度变化

## 2.4 人类活动和气候变化的相对作用分析

植被覆盖变化是气候因素和人类活动共同作用的结果。基于残差分析的定量区分结果表明,近 20 a 来鄱阳湖流域陆地植被 EVI 的动态变化过程中,气候变化的相对作用为 67.1%,人类活动的相对作用为 32.9%。由此可见,研究时段内鄱阳湖流域气候变化

是影响植被覆盖的主要驱动因素。其中,气候变化占主导作用(相对作用大于 60%)的区域占流域总面积的 68.5%,以南部赣江、抚河和信江子流域最为明显;人类活动占主导作用(相对作用大于 60%)的区域占流域总面积的 13.4%,主要位于北部的修水、饶河子流域的局部地区(图 7)。

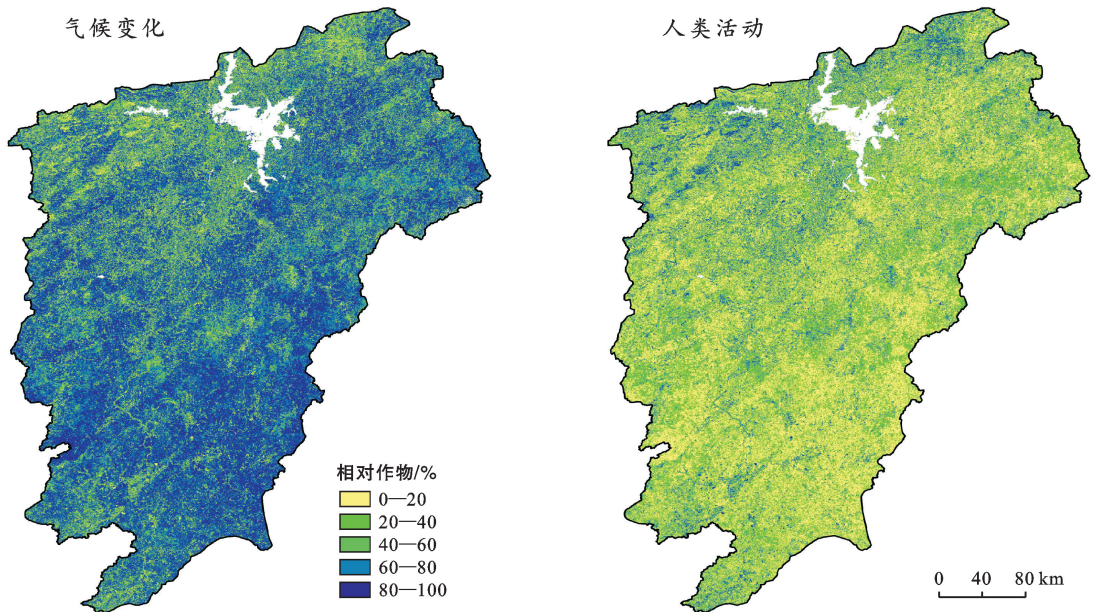


图 7 鄱阳湖流域 2000—2020 年气候变化和人类活动对 EVI 的相对作用空间分布

气候变化和人类活动对植被覆盖变化影响的相对作用在不同子流域之间存在一定差异(图 8)。赣江子流域气候变化的相对作用最为突出,其平均贡献率达到 70.0%,然后依次是抚河(69.9%)、信江(68.0%)、饶

河(63.9%)、鄱阳湖区(58.1%)和修水(56.9%)。与此相反,修水流域的人类活动影响相对较大,其平均贡献率为 43.1%,其次是鄱阳湖区(41.9%)、饶河(36.1%)、信江(32.0%)、抚河(30.1%)和赣江(30.0%)。



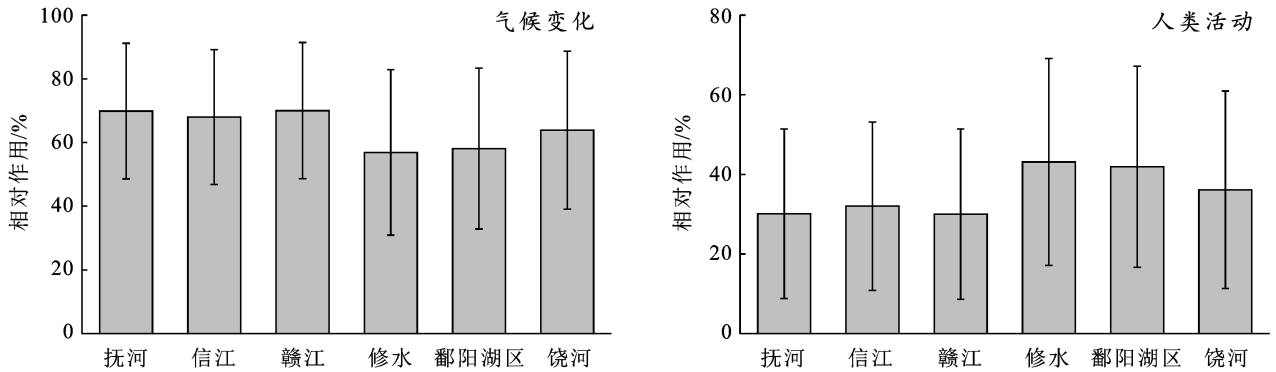


图8 不同子流域间气候变化和人类活动对EVI变化的相对作用

### 3 讨论

人类活动在植被生长中扮演了重要角色,其可通过间接影响或直接改造对地表植被覆盖产生正面促进或负面干扰的影响。近20 a来,鄱阳湖流域社会经济快速发展,城市化进程加快、人口密度普遍增加。结合EVI变化趋势来看,人口密度增加最突出的城市地区也是土地利用变化最集中的区域,这些地方因大规模城市化工程建设导致局部区域地表植被存在不同程度退化。对那些土地利用没有发生变化的区域,EVI增加中的人类活动作用更多的是体现在流域的生态修复工程的间接影响,如小流域综合治理与生态修复、坡改梯、封山育林等措施等。由于历史原因,建国初期一段时间内鄱阳湖流域曾因大规模的毁林开荒、湖区围垦等人类活动短期行为造成区域生态环境恶化,水土流域异常严重。20世纪80年代初,江西省开始实施“山江湖”生态修复工程,具体包括荒山造林、退耕还林、退田还湖以及水土流失综合治理等措施。经过几十年努力,鄱阳湖流域共有740多个小流域进行了系统治理与生态修复<sup>[28]</sup>,累计治理水土流失面积 $2.90 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,封山育林 $6.10 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,2010年前后流域森林覆盖率上升至63%左右<sup>[29]</sup>。进入21世纪,江西省社会经济和城镇化建设进入快速发展的时期,特别是在“环鄱阳湖生态经济区”国家战略的驱动下,鄱阳湖流域生态与经济协调发展取得了重大进步,生态环境显著改善。已有研究表明,2000年以来,鄱阳湖流域水土流失现象基本得到控制,降雨径流系数减小,河道基流增加明显,入湖泥沙锐减等,表明流域地表覆被状况明显改善、生态工程建设成效显著<sup>[29]</sup>。

社会经济与生态环境的协调有序发展是可持续发展的重要基础。随着中国生态文明建设的逐渐深入,社会经济快速发展的新形势也对区域生态环境提出了更新更高的要求。鄱阳湖流域地表植被覆盖显

著上升,经济和人口密度也呈增加趋势,表明流域社会经济与生态环境处于整体协调发展的状态。然而,流域人口密度变化与植被覆盖度增加之间并不呈简单的线性相关,而是在人口密度增加 $0 \sim 100 \text{ 人/km}^2$ , $400 \sim 500 \text{ 人/km}^2$ 时,流域植被EVI及其残差趋势均出现了一个峰值。这两个人口密度变化区间大体代表了流域人口增加和城市化背景下,流域广大的乡村地区和重点城市地区的人口变化情况。因此,这一结果表明,近年来,随着流域人口的普遍增加和社会经济的快速发展,人们更加重视生态环境的改善。广大乡村地区积极开展环境整治和生态修复,极大地提高了地表植被覆盖度。与此同时,城市化程度较高的重点城市地区,随着经济实力的提升,当地政府为提升居民生活质量积极开展绿化建设和生态民生工程,从而有效改善地表覆被状况。相反,对那些人口急剧增加的核心城市和人口增加相对较小的城镇地区,或因大规模城市工程建设的影响,或受政府财力限制,所在区域植被状况改善情况相对较弱。因此,高质量发展中的“绿色”“协调”理念对生态环境的保护至关重要。

近年来,中国大部分区域植被覆盖均存在不同程度增加态势,如北方黄河流域<sup>[14]</sup>、华北平原等<sup>[18]</sup>地,其背后的主导因素是区域大规模生态工程建设以及适宜的农业生产活动。在南方部分区域,如江苏、浙江等地,气候变化则是区域植被覆盖变化的主要驱动因素<sup>[19]</sup>。本文研究也表明,尽管人类活动对鄱阳湖流域陆地植被覆盖的增加起着重要的促进作用,但气候变化仍然起着主导因素。从流域气候变化的角度来看,近几十年来鄱阳湖流域气温上升明显,降水也呈现出一定的增加趋势,这对提高流域植被覆盖度,促进生态系统质量改善也具有积极作用,但同时也应注意气候过程的极端化对生态系统可持续发展的潜在风险。随着全球变暖,极端气候事件的频率和强度都有所增加,这种极端气候事件对植被的影响更为敏

感,必将对植被结构、功能造成重大影响,特别是干旱对植被生长极为不利<sup>[30]</sup>。Zhao 和 Running<sup>[31]</sup>的研究表明,干旱导致了 2000—2009 年全球陆地植被 NPP 的减少。Hilker 等<sup>[32]</sup>指出自 2000 年以来,降雨量的减少已导致亚马逊雨林大部分地区植被绿色度的下降,特别是在厄尔尼诺事件期间,亚马逊雨林 10%范围内的 NDVI 降低了约 16.6%。鄱阳湖流域是长江中下游地区旱涝灾害频发区,如 2003,2007,2009 和 2013 年发生的多次高温伏旱事件,1998 和 2020 年的洪涝灾害等。Tan 等<sup>[33]</sup>研究也发现鄱阳湖地区极端温度在月尺度上对植被生长影响显著。因此,未来在进一步分析植被与人类活动影响的基础上,不能忽视极端气候事件对流域植被变化的影响研究。

## 4 结论

(1) 近 20 a 来年鄱阳湖流域 EVI 呈上升趋势,年际变化率为 0.003 7/a。空间上,EVI 呈显著增长的区域面积约占全流域的 79.9%,而显著退化区域面积仅占 1.6%。这一结果表明,流域地表植被状况明显改善,生态环境质量显著提升。

(2) 近 20 a 来,鄱阳湖流域土地利用变化过程明显受到城市化进程的影响,与此同时,鄱阳湖区退田还湖效果显著。除了城镇化新扩张区域植被 EVI 下降外,其他土地利用类型植被 EVI 均呈增加趋势。就人口密度变化来看,流域植被 EVI 及其残差趋势总体上随着人口密度的增加而下降,但在平均人口密度 100~200 人/km<sup>2</sup> 的范围内时,植被 EVI 及其残差趋势分别出现了一个峰值。

(3) 流域人类活动整体上对植被 EVI 的增加起着重要的促进作用,在流域尺度上,人类活动对 EVI 增长的贡献率达到 32.48%,不同子流域间人类活动的平均贡献率在 30%~43%之间。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [2] 刘世梁,田韞钰,尹艺洁,等.云南省植被 NDVI 时间变化特征及其对干旱的响应[J].生态学报,2016,36(15):4699-4707.
- [3] Suzuki R, Masuda K, G Dye D. Interannual covariability between actual evapotranspiration and PAL and GIMMS NDVIs of Northern Asia [J]. Remote Sensing of Environment, 2007,106(3):387-398.
- [4] Metcalfe D B, Meir P, Aragão L E O C, et al. Shifts in plant respiration and carbon use efficiency at a large-scale drought experiment in the Eastern Amazon [J]. New Phytologist, 2010,187(3):608-621.
- [5] 孙儒泳.基础生态学[M].北京:高等教育出版社,2002.
- [6] Nemani R R, Keeling C D, Hashimoto H, et al. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999 [J]. Science, 2003, 300(5625):1560-1563.
- [7] 何玉杰,孔泽,户晓,等.水热条件分别控制了我国温带草地 NDVI 的年际变化和增长趋势[J].生态学报,2022,42(2):766-777.
- [8] Zhang Miao, Luo Geping, Cao Xiaoshu, et al. Numerical simulation of the irrigation effects on surface fluxes and local climate in typical mountain-oasis-desert systems in the central Asia arid area [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2019, 124(23):12485-12506.
- [9] Jiang Honglei, Xu Xia, Guan Mengxi, et al. Determining the contributions of climate change and human activities to vegetation dynamics in agro-pastoral transitional zone of Northern China from 2000 to 2015 [J]. Science of the Total Environment, 2020,718:134871.
- [10] Qu Sai, Wang Lunche, Lin Aiwen, et al. What drives the vegetation restoration in Yangtze River basin, China: Climate change or anthropogenic factors? [J]. Ecological Indicators, 2018,90:438-450.
- [11] 毛德华,王宗明,韩信兴,等.1982—2010 年中国东北地区植被 NPP 时空格局及驱动因子分析[J].地理科学,2012,32(9):1106-1111.
- [12] Qiu Bingwen, Zeng Canying, Tang Zhenghong, et al. Characterizing spatiotemporal non-stationarity in vegetation dynamics in China using MODIS EVI dataset [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2013, 185(11):9019-9035.
- [13] Kosaka Y, Xie Shangping. Recent global-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling [J]. Nature, 2013,501(7467):403-407.
- [14] 张乐艺,李霞,冯京辉,等.2000—2018 年黄河流域 NDVI 时空变化及其对气候和人类活动的双重响应[J].水土保持通报,2021,41(5):276-286.
- [15] 何红,牛叔文,齐敬辉.西北高寒干旱区哈尔腾河流域植被覆盖变化及其对全球气候变化的响应[J].冰川冻土,2015,37(4):963-972.
- [16] 高江波,焦珂伟,吴绍洪.1982—2013 年中国植被 NDVI 空间异质性的气候影响分析[J].地理学报,2019,74(3):534-543.
- [17] 袁喆,喻志强,冯兆洋,等.长江流域陆地生态系统 NDVI

- 时空变化特征及其对水热条件的响应[J].长江科学院院报,2019,36(11):7-15.
- [18] 刘斌,孙艳玲,王中良,等.华北地区植被覆盖变化及其影响因子的相对作用分析[J].自然资源学报,2015,30(1):12-23.
- [19] 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.
- [20] Piao Shilong, Yin Guodong, Tan Jianguang, et al. Detection and attribution of vegetation greening trend in China over the last 30 years [J]. *Global Change Biology*, 2014,21(4):1601-1609.
- [21] 金斌松,聂明,李琴,等.鄱阳湖流域基本特征、面临挑战和关键科学问题[J].长江流域资源与环境,2012,21(3):268-275.
- [22] 李文梅,覃志豪,李文娟,等.MODISNDVI与MODISEVI的比较分析[J].遥感信息,2010,25(6):73-78.
- [23] 王正兴,刘闯,陈文波,等.MODIS增强型植被指数EVI与NDVI初步比较[J].武汉大学学报.信息科学版,2006,31(5):407-410.
- [24] 陶帅,邝婷婷,彭文甫,等.2000—2015年长江上游NDVI时空变化及驱动力:以宜宾市为例[J].生态学报,2020,40(14):5029-5043.
- [25] Evans J, Geerken R. Discrimination between climate and human-induced dryland degradation [J]. *Journal of Arid Environments*, 2004,57(4):535-554.
- [26] Liu Xianfeng, Zhu Xiufang, Pan Yaozhong, et al. Vegetation dynamics in Qinling-Daba Mountains in relation to climate factors between 2000 and 2014 [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2016,26(1):45-58.
- [27] 许端阳,康相武,刘志丽,等.气候变化和人类活动在鄂尔多斯地区沙漠化过程中的相对作用研究[J].中国科学(D辑:地球科学),2009,39(4):516-528.
- [28] 于法展,张忠启,陈龙乾,等.江西庐山自然保护区主要森林植被水土保持功能评价[J].长江流域资源与环境,2015,24(4):578-584.
- [29] 唐国华,许闻婷,胡振鹏.森林植被改善对鄱阳湖流域径流和输沙过程的影响[J].水利水电技术,2017,48(2):12-21.
- [30] Sheffield J, Wood E F, Chaney N, et al. A drought monitoring and forecasting system for sub-Saharan African water resources and food security [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2014,95(6):861-882.
- [31] Zhao Maosheng, Running S W. Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 through 2009 [J]. *Science*, 2010,329(5994):940-943.
- [32] Hilker T, Lyapustin A I, Tucker C J, et al. Vegetation dynamics and rainfall sensitivity of the Amazon [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2014,111(45):16041-16046.
- [33] Tan Zhiqiang, Tao Hui, Jiang Jiahu, et al. Influences of climate extremes on NDVI (normalized difference vegetation index) in the Poyang Lake Basin, China [J]. *Wetlands*, 2015,35(6):1033-1042.

(上接第292页)

- [21] 朱会义,李秀彬.关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论[J].地理学报,2003,58(5):643-650.
- [22] 任斐鹏,江源,熊兴,等.东江流域近20年土地利用变化的时空差异特征分析[J].资源科学,2011,33(1):143-152.
- [23] 陈玉宇,王远东,杨熙来.1990—2015年赣江流域耕地时空特征及景观格局分析[J].赣南师范大学学报,2020,41(6):104-111.
- [24] 陈利,朱喜钢.中国城镇化的地域非均衡及其动态演进:来自基尼系数及核密度估计的经验证据[J].统计与信息论坛,2017,32(5):76-84.
- [25] 孟祥凤,王冬艳,李红,等.东北老工业城市建设占用耕地驱动力分析[J].农业工程学报,2018,34(11):225-233.
- [26] 谢高地,张彩霞,张昌顺,等.中国生态系统服务的价值[J].源科学,2015,37(9):1740-1746.
- [27] 刘凤莲,杨人懿.武汉市土地利用变化及对生态系统服务价值的影响[J].水土保持研究,2021,28(3):177-183.
- [28] 王利平,王成,李晓庆,等.区域生态质量变化对土地利用类型转换的响应:以重庆市沙坪坝区为例[J].西南大学学报(自然科学版),2012,34(7):88-94.
- [29] 罗刚,廖和平,李强,等.基于“三生空间”的土地利用主导功能转型及其生态环境响应:以重庆市巴南区为例[J].西南大学学报(自然科学版),2018,40(4):105-113.
- [30] 黄婧,杨敏,张方辉.“十二五”期间重庆市土地利用变化及生态效应[J].水土保持通报,2018,38(2):154-159.