

2000—2015 年长江经济带植被覆盖时空变化特征及影响因素分析

刘珞丹¹, 李晶¹, 柳彩霞², 闫萧萧¹

(1.中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院,北京 100083; 2.中国科学院遥感与数字地球研究所,北京 100101)

摘要:作为关系国家发展全局的重大战略区域之一,为落实系统修复长江经济带生态的重要战略举措,基于 2000—2015 年 GIMMS-NDVI 长时序数据,运用趋势分析、波动性分析、偏相关分析等方法,从空间大尺度、多因素角度对长江经济带 16 a 植被覆盖变化的时空特征、驱动力及土地利用和植被变化间的动态响应关系进行了分析研究。结果表明:16 a 来长江经济带 NDVI 年际变化呈缓慢增加的趋势(速率为 0.44%/a),整体波动情况较为稳定($CV_{\text{平均}} = 6.89\%$);空间上,植被呈减少趋势的主要分布在上海市、江苏省的东南部、四川盆地及下游流域附近(占比约 17.11%);地形因子中海拔和坡度对植被变化的影响较显著,在海拔 500~1 000 m 和坡度 $0^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 范围内区域 NDVI 呈增加趋势的面积比重最大。驱动因素方面,研究区 NDVI 与温度的偏相关性($r_{\text{平均}} = 0.095$)较降水($r_{\text{平均}} = -0.004$)高;居民地的增加是 NDVI 减少的主要原因,退耕还林(草)造成的土地类型变化是研究区 NDVI 增加的重要因素。影响因素中海拔、坡度和气温对研究区内的植被变化影响较大,未来进行生态保护时可结合地形特点,从而制定更合理的政策。

关键词:长江经济带; GIMMS-NDVI; 波动性; 偏相关性; 多因素作用

中图分类号:Q948

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)06-0330-07

Analysis on the Characteristics of Temporal and Spatial Changes and Influencing Factors of Vegetation Coverage in the Yangtze River Economic Belt from 2000 to 2015

LIU Luodan¹, LI Jing¹, LIU Caixia², YAN Xiaoxiao¹

(1.College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology-Beijing, Beijing 100083, China; 2.Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: As one of the major strategic areas related to the overall development of the country, in order to implement important strategic measures to systematically restore the ecology of the Yangtze River Economic Belt, based on the GIMMS-NDVI long-time series data from 2000 to 2015, we used trend analysis, volatility analysis, partial correlation analysis and other methods to analyze and study the temporal and spatial dynamic characteristics of vegetation cover and the main factors of its changes in the Yangtze River Economic Belt over the past 16 years, and the dynamic response relationship between land use and vegetation change from the perspective of large-scale and multi-factor analysis. The results showed that the inter-annual change of NDVI in the Yangtze River Economic Belt had been increasing slowly in the past 16 years (the annual rate was 0.44%), the overall fluctuation of the study area was relatively stable ($CV_{\text{mean}} = 6.89\%$); spatially, the areas with a decreasing trend mainly distributed in Shanghai, the southeast of Jiangsu Province, the Sichuan Basin and the lower reaches of the Yangtze River (approximately 17.11%); Among the terrain factors, altitude and slope had a significant impact on vegetation changes, and in the range of 500~1 000 m above sea level and $0^{\circ}\sim 5^{\circ}$ slope, the proportion of the area with an increasing trend of NDVI reached the maximum; in

收稿日期:2020-12-03

修回日期:2020-12-28

资助项目:“十三五”国家重点研发计划“地表生态变化过程反演与土地影响边界识别”(2016YFC0501101-4)

第一作者:刘珞丹(1994—),女,河南郑州人,硕士,研究方向为国土规划与环境遥感技术。E-mail:lld_cumtb@163.com

通信作者:李晶(1975—),女,吉林农安人,博士,教授,博士生导师,主要从事土地利用与土地复垦、生态遥感、3S 应用研究。E-mail:lijing@cumtb.edu.cn

terms of driving factors, the partial correlation between NDVI and temperature ($r_{\text{mean}} = 0.095$) in the study area was higher than that of precipitation ($r_{\text{mean}} = -0.004$); in addition, the increase in residential land was the main reason for the decrease in NDVI, and the land type change caused by returning farmland to forest (grass) was an important factor in the increase in NDVI in the study area. Among the influencing factors, altitude, slope and air temperature have a great influence on the vegetation change in the study area. In the future, the ecological protection can be combined with the terrain characteristics, so as to make more reasonable policies.

Keywords: Yangtze River Economic Belt; GIMMS-NDVI; fluctuation; partial correlation analysis; multi-factorial effect

植被是陆地生态系统中最核心的组成部分^[1],其覆盖状况是一个重要评价指标,可以分析区域内环境质量和生态系统平衡状况^[2]。植被覆盖度(Fractional Vegetation Cover, FVC)、归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)是评价全球或区域植被覆盖状况和生态环境的最佳指示因子^[3],二者呈线性相关,可反映研究区内植被生长、覆盖密度等生态状况,因而已被广泛运用于植被的生态监测分析中^[4]。在植被覆盖影响因素方面,现有研究多从气候条件^[5-6]、地形因子^[7-8]、人类活动^[9]等角度进行分析。

长江经济带是我国一个重大的国家战略发展区域,其横跨区域广,具有独特优势和巨大发展潜力。习近平总书记多次指出:“要把修复长江生态环境摆在压倒性位置,共抓大保护,不搞大开发”,“要正确把握生态环境保护和经济发展的关系,探索协同推进生态优先和绿色发展新路子”^[10]。当前,急需进一步摸清长江经济带自然资源与生态环境问题,在全面诊断基础上,明确未来治理修复方向和科学谋划未来发展布局。现有长江流域植被变化方面的研究多从其部分区域的角度(如流域、省份、保护区等)来揭示植被覆盖度空间分布和变化,驱动力分析也多从气候、人类活动等单一角度进行分析^[11-12],而从大范围及多方面综合评价植被覆盖的研究较少。如韩继冲等^[13]运用格网法静态分析长江流域上游植被覆盖变化对气候和地形因子的响应;熊俊楠等^[14]认为云南省 NDVI 变化状况总体呈改善趋势且与地形因子的相关性较显著;祝聪等^[15]主要利用地理探测器模型对岷江上游植被覆盖度进行分析,结果也受到海拔、气候因子和土壤类型的影响;张亮等^[16]研究发现气温是长江流域植被覆盖度变化中的主要影响因素,人类活动影响也较为明显;白淑英等^[17]利用 GIMMS-NDVI 数据和气象站点资料,分析长江流域植被对气候变化响应的时滞效应。

基于以上研究,本文主要应用 GIMMS-NDVI 数据,采用趋势分析、变异系数、偏相关性分析等方法

从空间大尺度上探讨分析长江经济带 2000—2015 年植被覆盖时空变化动态特征,并从多因素协同作用的角度综合分析其与气候、地形因子等因素的相关性,以及土地利用类型变化与植被变化间的动态响应关系,以期为长江经济带的生态保护和可持续发展提供基础数据和理论支撑。

1 研究区概况

长江经济带界于东经 $97^{\circ}31'$ — $122^{\circ}12'$,北纬 $35^{\circ}08'$ — $21^{\circ}8'$,其拥有独特的生态、自然资源和地理区位优势,是人口经济产业的聚集区,覆盖 11 个省(市),面积约 205 km^2 ,占全国总面积的 21%,拥有全国 21% 的流域面积,人口和经济总量均超过全国的 40%。长江经济带横跨中国东中西三大区域,西高东低,地貌复杂,地面高差悬殊,DEM 处于 $-143 \sim 6448 \text{ m}$,区域内大部分以高原、山地、丘陵和盆地为主,气候多属于亚热带季风气候,少部分属于热带季风气候;植被类型主要以栽培植被、针叶林和灌丛为主;区域内水系湖泊众多且相互交错影响,区域内国家重点生态功能区的数量多,国家级自然保护区占全国 67.0%^[18-19]。

2 数据与方法

2.1 数据来源与预处理

遥感数据采用美国航空航天局(NASA)全球监测与模型研究组(global inventory modeling and mapping studies, GIMMS)发布的 15 d 最大值合成的 NOAA/AVHRR NDVI 全球数据集,空间分辨率为 $8 \text{ km} \times 8 \text{ km}$ 。该数据集已经过几何校正,辐射校正和大气校正等处理,并在全球及区域植被变化的大尺度动态研究中广泛使用^[20]。本研究采用最大值合成法 MVC(Maximum Value Composites)获取每月 NDVI 最大值,代表当月植被生长的最佳状况及其动态变化,同时也可以有效减少大气、视角以及太阳高度角的影响^[21]。利用 ENVI 和 ArcGIS 软件对数据进行分析,包括格式和投影转换、图像拼接、图像裁

剪以及重采样等,最后得到本研究所需要的空间分辨率为 1 km 的 NDVI 数据。在此基础上,对月最大 NDVI 求取平均值得到长江经济带年 NDVI 值。

气象数据、土地利用数据、DEM 数据均来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)。本研究采用的是中国 1980 年以来逐年年平均气温、年降水量空间插值数据集,空间分辨率重采样为 1 km;以及选取了 2000 年和 2015 年两期 1 km 的土地利用数据。土地利用类型包括 6 个一级类型(耕地、林地、草地、水域、居民地和未利用土地),25 个二级类型。

2.2 研究方法

2.2.1 空间变化趋势分析 趋势分析法主要是采用最小二乘法来逐像元拟合,通过分析单个像元上的变化特征来反映整个空间上的变化规律^[22]。本研究通过该方法分析 2000—2015 年研究区内每个像元 NDVI 的年际变化趋势。计算公式为:

$$\theta_{\text{slope}} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times \text{NDVI}_i - \frac{n}{2} \times \sum_{i=1}^n \text{NDVI}_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - \left(\sum_{i=1}^n i\right)^2} \quad (1)$$

式中: θ_{slope} 为 NDVI 变化趋势的斜率; n 为研究总年数; NDVI_i 为第 i 年的 NDVI。当 $\theta_{\text{slope}} > 0$ 或 < 0 时,表明 NDVI 呈增加或下降趋势, θ_{slope} 的绝对值越大,表示植被变化越大。变化趋势显著性检验采用 F 检验^[7],显著性仅代表趋势性变化可置信程度的高低,与变化快慢无关。计算公式为:

$$F = U \times \frac{n-2}{Q} \quad (2)$$

式中: $U = \sum_{i=1}^n (\hat{y})^2$ 为误差平方和; $Q = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ 为回归平方和; y_i 为第 i 年的 NDVI; \hat{y}_i 为其回归值; \bar{y} 为多年平均 NDVI; n 为 16。

综合 θ_{slope} 和 F 检验结果,将研究区 NDVI 变化趋势划分为 5 个等级:显著减少($-0.055 < \theta_{\text{slope}} < -0.009$, $p < 0.01$)、轻度减少($-0.009 < \theta_{\text{slope}} < 0.002$, $0.01 < p < 0.05$)、无明显变化($0.002 < \theta_{\text{slope}} < 0.006$, $p > 0.05$)、轻度增加($0.006 < \theta_{\text{slope}} < 0.012$, $0.01 < p < 0.05$)、显著增加($0.012 < \theta_{\text{slope}} < 0.078$, $p < 0.01$)。

2.2.2 波动性分析 变异系数是一个统计量,可监测一组观测数中各观测量的变异程度^[15],本文运用该统计量基于像元尺度对 NDVI 在时间序列上的变异程度进行分析,以此来评估 NDVI 随时间变化的波动性。计算公式为:

$$\text{CV} = \frac{\sigma}{\mu} \quad (3)$$

式中:CV 为变异系数; σ 为 16 a 的 NDVI 标准差; μ 为均值。值越大,表明数据变化越剧烈,即波动性越大;反之则表明数据变化趋于稳定即波动性小。

2.2.3 偏相关性分析 偏相关系数可用来表示多个因素间变化的相关程度。偏相关性分析的过程主要是:当 3 个变量中有两个同时与另一个变量都相关时,先排除另一个变量的影响,分析两个变量间的相关程度^[6]。本研究基于年尺度分别计算各像元 2000—2015 年 NDVI 与年降水量、年均气温的偏相关系数,显著性检验用 T 检验。

先计算 NDVI 与气候因子间的相关系数 r ,公式^[23]如下:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(\text{NDVI}_i - \overline{\text{NDVI}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (\text{NDVI}_i - \overline{\text{NDVI}})^2}} \quad (4)$$

式中: r 为变量 X 和 NDVI 的相关系数,值在 $[-1, 1]$, $r > (<) 0$,表示呈正(负)相关; i 为年序号; $n = 16$; NDVI_i 为第 i 年的 NDVI; $\overline{\text{NDVI}}$ 为对应 16 a 的年平均 NDVI; x 为气候因子即年平均气温或年降水; \bar{x} 为对应气候因子 16 a 的平均值。

再计算偏相关系数:

$$R_{abc} = \frac{r_{ab} - r_{ac} \times r_{bc}}{\sqrt{(1 - r_{ac}^2) + (1 - r_{bc}^2)}} \quad (5)$$

式中: R_{abc} 为保持变量 c 不变,变量 a 和 b 之间的偏相关系数; r_{ab} , r_{ac} , r_{bc} 分别为变量 a , b , c 两两之间的相关系数。 R_{abc} 为正(负),表示两个变量之间呈正(负)偏相关且绝对值越大,两者偏相关性就越大。本研究中变量 a , b , c 分别为 NDVI、气温和降水。

T 检验^[24] 计算公式:

$$t = \frac{r}{\sqrt{(1 - r^2)(n - 2)}}, f = n - 1 \quad (6)$$

式中: r 为相关系数; f 为自由度。根据求得的 R 结果与 T 检验结果分别将气温和降水两个因子的偏相关性分为 5 个等级:显著正偏相关、弱显著正偏相关、无显著偏相关、弱显著负偏相关和显著负偏相关。

2.2.4 地形因子提取 为进一步分析研究区 NDVI 变化对地形因子的响应,本研究选取海拔、坡度、坡向 3 个地形因子并进行等级划分。其中,研究区高程范围为 $-181 \sim 6\,511$ m,在李炳元等^[25]提出的分级指标基础上,结合研究区实际情况及相关研究^[12,14],将高程划分为 10 个等级;研究区坡度范围为 $0^\circ \sim 81^\circ$,根据实际情况及相关研究^[12,26],坡度在 35° 以下的以 5° 为间隔划分,大于 35° 的分为两级,共分为 9 个等级;坡向上,依据相关研究^[26-27]分为 9 个坡向带:平地(-1)、正北($337.5^\circ \sim 360^\circ$ 和 $0^\circ \sim 22.5^\circ$)、东北

(22.5°~67.5°)、正东(67.5°~112.5°)、东南(112.5°~157.5°)、正南(157.5°~202.5°)、西南(202.5°~247.5°)、正西(247.5°~292.5°)和西北(292.5°~337.5°)。分级及面积占比见表 1。

表 1 长江经济带地形因子分级及面积占比统计

海拔/m	面积占比/%	坡度/(°)	面积占比/%	坡向	面积占比/%
<200	26.72	0~5	31.17	平地	0.21
200~500	16.13	5~10	13.33	正北	12.92
500~1000	15.54	10~15	12.93	东北	11.74
1000~1500	11.18	15~20	12.25	正东	12.14
1500~2000	8.45	20~25	10.46	东南	13.28
2000~2500	5.66	25~30	8.04	正南	13.32
2500~3000	2.85	30~35	5.64	西南	12.00
3000~3500	2.78	35~45	5.13	正西	11.84
3500~4000	3.79	>45	1.05	西北	12.56
>4000	6.91				

2.2.5 土地利用变化 本研究在 ArcGIS 平台支持下,对 2000 年和 2015 年两期土地利用数据进行叠加,分析其空间分布特征,并计算面积转移矩阵分析土地利用类型转变情况。另外将 NDVI 变化趋势重分类为 3 类:减少、稳定和增加,利用空间叠置分析功能,将其与两期土地利用类型图进行叠加,分析土地利用类型变化与 NDVI 变化间的空间动态分布特征。另外将土地利用转化面积在 500 km² 以上的变化类型作为主要类型提取出来,统计不同 NDVI 变化趋势范围内主要土地利用变化类型的面积,了解主要土地利用变化对植被的动态影响,进一步分析土地利用变化与植被动态变化间的响应关系。

3 结果与分析

3.1 植被 NDVI 时间动态特征

本研究逐像元计算并统计了长江经济带全区域和各省份的 16 a 每年 NDVI 的平均值,从而反映研究区内年植被的平均状况,年际曲线图见图 1。除上海市年均 NDVI 值是处于下降趋势外,其他省市 NDVI 值变化趋势和全区域基本保持一致。整体上 16 a 来长江经济带年均 NDVI 值平稳分布在 0.65~0.82,年增长率为 0.44%;其中,2000—2010 年,年均 NDVI 先以 1.2% 的速率增加,后以 0.26% 缓慢增加;2011 年由于长江流域发生大洪水导致 NDVI 有所下降;2011—2015 年研究区 NDVI 值又以每年 0.84% 的速率增加。上海市年均 NDVI 以 0.39% 的速率在减少,值在 0.532~0.620 变化,最大值在 2000 年(值为 0.62),最低值出现在 2009 年(值为 0.532)。总体上研究区植被覆盖变化趋势是缓慢增加的。

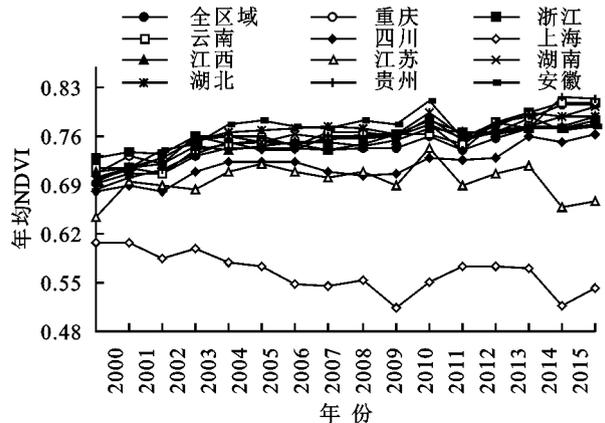


图 1 2000—2015 年长江经济带年均 NDVI 值变化情况

3.2 植被 NDVI 空间分布及动态特征

3.2.1 空间变化趋势 长江经济带植被的空间变化趋势分析结果见附图 8, θ 值变化范围为 -0.055~0.078,正值表示呈增长趋势,负值表示呈减少趋势。研究区 NDVI 不同变化趋势类型统计结果见表 2。

从附图 8 中可以看出,研究区 NDVI 变化趋势存在明显的空间差异性,主要表现为:大部分地区以无明显变化和增加为主,减少的区域主要分布在东部(上海)、长江下游及四川盆地部分区域。由表 2 可知,总体上长江经济带植被的变化趋势以无明显变化、轻度增加为主,面积占比共约 78.99%。从不同变化程度来看,轻度增加的约占总面积的 38.25%,主要分布在长江经济带的中西部,包括重庆市和贵州省的大部分区域、湖南和湖北省的西部,分析原因主要是该区域内采取了相应的植被恢复和保护措施^[16];轻度减少的面积占比约 14.06%,主要分布在四川盆地以及研究区东部省份内的流域附近;显著减少的集中分布在上海市及江苏省的东南部,占比约 3.05%。总体上 NDVI 呈增加趋势的面积比例约是减少的 2.5 倍,说明长江经济带在近 16 a 来植被状况在以改善为主,且改善较为显著。

3.2.2 空间波动性 由附图 9 可知,长江经济带 2000—2015 年 NDVI 变异系数介于 0~3.789,平均变异系数为 6.89%,表明该区域植被覆盖变化的空间差异性较明显,且 16 a 间整体波动情况较为稳定。整体表现为长江下游流域附近波动较高,四川西南部次之,其他地区较稳定的空间分布格局。统计分析各阶段内的像元个数可得(表 3),变异系数主要是在 0~0.312 变化,面积占全区域的 98.99%,分布在中部城市、云南西南部及东部浙江与安徽、江西的交界处;其次波动变化较平稳的分布在四川南部、云南省东部及东部城市地区,变化范围为 0.312~0.743,面积占比 0.82%;最不稳定的的是四川省川西山地区内部分区域以及长江下游流域附近。总体上,长江经济带植被覆

盖的波动性还是较稳定。

表 2 2000—2015 年长江经济带 NDVI 变化趋势统计

项目	变化程度	面积/万 km ²	比例/%
$-0.055 < \theta_{slope} < -0.009, p < 0.01$	显著减少	62215	3.05
$-0.009 < \theta_{slope} < 0.002, 0.01 < p < 0.05$	轻度减少	286437	14.06
$0.002 < \theta_{slope} < 0.006, p > 0.05$	无明显变化	829967	40.74
$0.006 < \theta_{slope} < 0.012, 0.01 < p < 0.05$	轻度增加	779268	38.25
$0.012 < \theta_{slope} < 0.078, p < 0.01$	显著增加	79297	3.89

表 3 2000—2015 年长江经济带 NDVI 变异系数统计

CV 取值范围	像元个数/个	比例/%
0.000~0.104	1866894	91.64
0.104~0.312	149686	7.35
0.312~0.743	16746	0.82
0.743~1.545	3184	0.16
1.545~3.789	674	0.03
合计	2037184	100.00

3.2.3 对地形因子的动态响应 将重分类为 3 类后的 NDVI 变化趋势与得到的地形专题图进行叠加,统计 3 个地形因子各等级内对应的不同 NDVI 变化类型的面积,生成的直方图见图 2—4。

(1) 高程。在海拔 < 200 m 的区域内, NDVI 呈减少趋势所占面积最大, 约 168 217 km²; 500~1 000 m 内, NDVI 呈增加趋势的面积最大, 约为 164 857 km²。一方面是因为该范围内自然条件相比其他范围都较适合植被的生长, 但人类活动对植被的影响也较大 (< 500 m), 另一方面是“退耕还林还草”、“天然林保护”等重大生态项目的建设, 对植被增长也起到了促进作用^[28] (500~2 500 m)。在 > 3000 m 海拔梯度内, NDVI 呈增加、减少趋势的面积基本持平, 该区域主要集中在四川省西南部和云南省的西部, 主要是自然灾害导致了植被的退化, 并且温度和降水条件对植被的生长起到了一定的抑制作用^[29]。

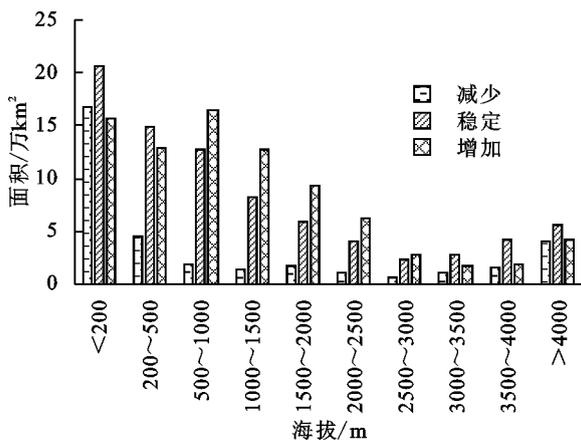


图 2 长江经济带不同高程等级内 NDVI 变化趋势所占面积

(2) 坡度。从不同坡度看, 植被呈减少趋势在 0°~5°区域内面积达到最大, 主要是因为该区域受人类活动的影响较大; 随着坡度的升高, 植被呈减少趋

势的面积明显下降, 主要是因为人类活动的干预影响变小, 且多受到自然灾害的影响^[11]。5°~30°范围内植被呈增加趋势所占的面积大, 原因是退耕还林、天然林保护等生态项目起到了较好的效果。

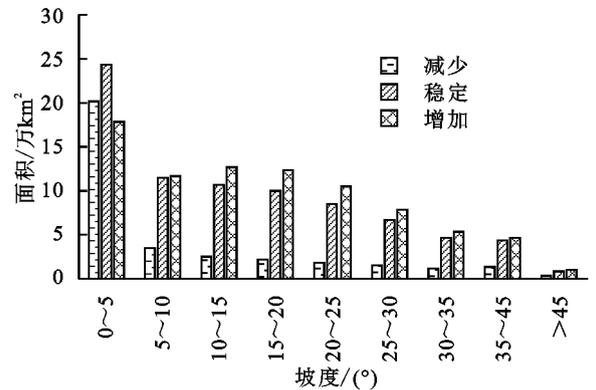


图 3 长江经济带不同坡度等级内 NDVI 变化趋势所占面积

(3) 坡向。由图 4 可知, 除平地外, 不同坡向上的 NDVI 变化表现明显且呈现保持一致的特征, 主要以无变化和增加为主, 另外 NDVI 无变化和增加的面积均约是减少的 2.5 倍, 说明长江经济带在不同坡向上总体植被覆盖状况处于增加趋势, 该结果与前面的研究结果相一致。综合来看, 研究区内不同坡向对植被的动态变化影响为较不明显。

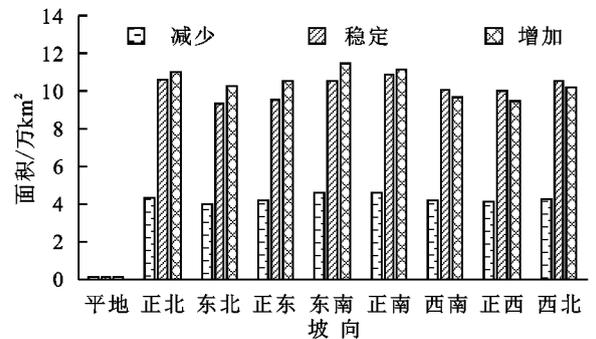


图 4 长江经济带不同坡向范围内 NDVI 变化趋势所占面积

3.3 多因素作用分析

3.3.1 植被与气候因子 附图 10 是 2000—2015 年研究区 NDVI 与年均气温和年降水量之间的偏相关系数空间分布图, 从附图 10 可看出, NDVI 变化与气温和降水的偏相关性呈现的是正负并存, 呈正偏相关的区域分别占总面积的 44.16%, 28.21%, 平均偏相关系数分别为: 0.094, -0.004, 表明 16 a 来研究区 NDVI 与温度的偏相关性较降水高。与气温的相关性分析中, 呈正偏相关性的面积约 897 911 km², 主要分布在研究区南部贵、湘、赣 3 省份的大部分区域, 可能由于该区域降水量相对较多, 温度的升高对植被生长有一定的促进作用; 呈负偏相关性的区域主要分布在浙江省、贵州遵义市及四川省西北部 (占比 28.82%)。与降水的相关性分析中, 正、负偏相关性的面积占比

较为均衡(分别为 28.21%, 26.82%), 其中呈正偏相关性的区域主要分布在皖、浙、赣 3 省的交界处以及四川盆地平原丘陵区, 但该区域 NDVI 与温度的偏相关程度较降水高即更容易受气温的影响, 分析原因可能是 3 个省份的城镇化程度较高, 人类活动较为频繁以及平原丘陵区的用地类型主要为栽培植被, 植被覆盖多受气温的影响^[13]; 呈负偏相关性的区域主要分布在滇西和滇西南、四川西南部及江苏东北部, 分析原因可能是过多的降水降低了植被的光合作用, 进而对植被生长产生不利影响^[30]。

3.3.2 植被与土地利用变化 本研究基于 2000 年、2015 年研究区两期土地利用数据计算其转移矩阵, 并结合土地利用类型转变情况(附图 11)来分析近 16 a 研究区植被变化的原因; 另外通过空间叠加进一步分析土地利用变化与植被动态变化间的响应关系(表 4)。

表 4 不同 NDVI 变化类型内主要土地利用类型变化

项目	主要土地利用类型变化	面积/km ²
NDVI 减少区域	耕地→林地	998.34
	耕地→居民地	13270.78
	林地→耕地	687.32
	林地→居民地	1728.13
	居民地→耕地	588.18
NDVI 增加区域	耕地→林/草地	2674.33
	耕地→居民地	1451.82
	林/草地→耕地	1718.31
	林/草地互相转换	3123.05
	林地→居民地	547.39

(1) 土地利用类型变化特征。总体上, 研究区土地利用类型转换主要以无变化为主, 面积约占总面积的 97.74%, 居民地和水域的面积呈增加的趋势, 耕地呈减少的趋势, 林地和草地的面积基本保持不变。具体地, 结合转移矩阵及附图 11 可看出, 转为居民地的变化面积约 21 486.32 km², 主要分布在研究区内各省份的省会区域, 变化较为明显的是江苏省南部、浙江北部、上海市及四川省内平原丘陵区, 这是研究区部分植被覆盖降低的重要因素; 水域净增加的面积约 2 629.16 km², 原因可能与三峡工程及水土保持生态建设项目的实施有关^[31]; 耕地净减少面积约 19 896.71 km², 其中有 1 827.66 km² 转为林/草地, 15 890.74 km² 转为居民地; 转为林/草地的面积总约 12 844.09 km², 转为林地的分布在研究区内每个省份, 但重庆和贵州省变化较为明显, 转为草地的主要分布在云、贵、川和渝 4 省, 这些与退耕还林(草)工程的实施息息相关。

(2) 不同植被变化区域内的主要土地利用类型变

化情况。本研究主要分析了 NDVI 处于减少和增加趋势的区域内的主要土地利用类型变化情况(剔除地类无变化的情况, 且只考虑变化面积在 500 km² 以上的主要土地利用类型变化)。由表 4 可以看出, 植被覆盖处于减少趋势的区域内, 地类转换面积最大的是耕地转为居民地(在主要土地利用类型变化中的占比约 76.83%), 林地转为耕地和居民地的面积共约 2 415.44 km², 其中耕地转为林地的面积约 998.34 km²。植被处于增加趋势的区域内, 林地和草地间的转换以及耕地转为林地/草地的面积总占比约 60.93%(在主要土地利用类型变化中), 林地/草地转为其他的面积约 2 265.69 km²。居民地用地的增加是 NDVI 减少的主要原因, 退耕还林(草)、天然防护林工程等生态工程造成的土地利用类型变化是 NDVI 变化的重要因素。

4 讨论

植被覆盖变化是气候、地形、人为等多种因素共同作用的结果。地形因子主要通过影响太阳辐射强度、温度、降水和土壤等条件进而影响植被的生长及空间分布, 它在一定程度上也限制人类活动方式和强度^[12]。土地利用类型变化作为植被受人为因素影响而变化最直接的体现, 它对其影响主要表现在前期短时的人为干扰和后期较长时的用地功能变化^[28, 32]。研究表明, 16 a 来长江经济带植被覆盖呈缓慢增加的趋势, 与气候因子的偏相关性均存在正负并存的现象, 但研究区 NDVI 与温度的偏相关性较降水高, 土地利用变化对植被覆盖的影响具有空间差异性。在低海拔区域, 城镇化水平较高, 人类活动较频繁且植被类型主要是农作物, 此时植被主要受气温的影响, 居民地的增加是植被减少的主要原因; 在 500~2 500 m 海拔内, “退耕还林还草”、“天然林保护”等重大生态项目的建设, 对植被增长起到了促进作用, 这也是研究区 NDVI 增加的重要因素; >3 000 m 区域内, 自然灾害的发生会导致植被减少, 并且温度和降水对植被的生长起到了一定的抑制作用(如四川省西南部和云南省的西部); 在降水量较为丰沛区域(如贵、湘、赣 3 省份), 温度的升高对植被生长有一定的促进作用。

5 结论

(1) 16 a 来长江经济带植被覆盖整体较高(0.62~0.82), 呈中部高、东西部较低的空间分布格局。2000—2010 年, 年均 NDVI 先以 1.2% 的速率增加, 后以 0.26% 缓慢增加; 2011—2015 年以 0.84%/a 的

速率增加。上海市 16 a 来植被覆盖呈小幅减少的趋势(0.4%/16 a),区域内其他省市植被变化趋势和全区域基本保持一致。

(2) 研究区 16 a 内植被覆盖变化以无明显变化、轻度增加为主(面积占比 78.99%),显著减少的区域分布在上海市及江苏省的东南部,整体上呈增加趋势的面积约是减少趋势的 2.5 倍。植被覆盖整体波动情况较稳定且平均变异系数为 6.89%。

(3) 研究区 NDVI 与温度的偏相关性较降水高;与气温呈负偏相关性的区域主要分布在浙江省及四川省西北部;与降水呈负偏相关性的主要分布在云南省的滇西和滇西南、四川省西南部;皖、浙、赣 3 省交界处及四川盆地平原丘陵区的植被与气温和降水均存在正相关,但与降水的偏相关程度要低于气温。

(4) NDVI 呈增加趋势所占面积最大的主要分布在海拔 500~1 000 m、坡度 0°~5°,该范围虽是人类活动集中区,但国家重大生态项目的建设也起到了很好的效果;坡向对植被动态变化的影响较小。

本研究主要从行政区角度分析了长江经济带的植被覆盖变化情况,可供决策参考,但今后仍有必要从区域内的各个流域角度进行分析。另外没有进行气候因子对植被影响的滞后性分析,同时也未考虑社会经济因子等条件,这也将是本研究下一步工作的重点和亟待解决的问题。

参考文献:

- [1] Meyer W B, Turner B L. Human population growth and global land-use/cover change[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1992, 23(1): 39-61.
- [2] 赵舒怡,宫兆宁,刘旭颖. 2001—2013 年华北地区植被覆盖度与干旱条件的相关分析[J]. *地理学报*, 2015, 70(5): 717-729.
- [3] 宋敏敏,张青峰,吴发启,等. 基于 NDVI 的延河流域时空演变分析[J]. *水土保持研究*, 2017, 24(4): 6-11.
- [4] 蔡宗磊,包妮沙,刘善军. 国产高分一号数据估算草地植被覆盖度方法研究:以呼伦贝尔草原露天煤矿区为例[J]. *地理与地理信息科学*, 2017, 33(2): 32-38.
- [5] 周伟,刚成诚,李建龙,等. 1982—2010 年中国草地覆盖度的时空动态及其对气候变化的响应[J]. *地理学报*, 2014, 69(1): 15-30.
- [6] 穆少杰,李建龙,陈奕兆,等. 2001—2010 年内蒙古植被覆盖度时空变化特征[J]. *地理学报*, 2012, 67(9): 1255-1268.
- [7] 汤巧英,戚德辉,宋立旺,等. 基于 GIS 和 RS 的延河流域植被覆盖度与地形因子的相关性研究[J]. *水土保持研究*, 2017, 24(4): 198-203.
- [8] 蔡宏,何政伟,安艳玲,等. 基于 RS 和 GIS 的赤水河流域植被覆盖度与各地形因子的相关强度研究[J]. *地球与环境*, 2014, 42(4): 518-524.
- [9] 胡砚霞,黄进良,杜耘,等. 2000—2015 年丹江口库区植被覆盖时空变化趋势及其成因分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(4): 862-872.
- [10] 孙智君,李萌. 新时代中国共产党的长江经济带发展战略研究[J]. *重庆社会科学*, 2020(12): 28-44.
- [11] 陈亮,陈世俭,蔡晓斌,等. 湖北省植被覆盖度变化及其对地形因子的响应[J]. *中南林业科技大学学报*, 2018, 38(4): 79-86.
- [12] 邓元杰,姚顺波,侯孟阳,等. 长江流域中上游植被 NDVI 时空变化及其地形分异效应[J]. *长江流域资源与环境*, 2020, 29(1): 66-78.
- [13] 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.
- [14] 熊俊楠,彭超,程维明,等. 基于 MODIS-NDVI 的云南省植被覆盖度变化分析[J]. *地球信息科学学报*, 2018, 20(12): 1830-1840.
- [15] 祝聪,彭文甫,张丽芳,等. 2006—2016 年岷江上游植被覆盖度时空变化及驱动力[J]. *生态学报*, 2019, 39(5): 1583-1594.
- [16] 张亮,丁明军,张华敏,等. 1982—2015 年长江流域植被覆盖度时空变化分析[J]. *自然资源学报*, 2018, 33(12): 2084-2097.
- [17] 白淑英,王莉,史建桥. 长江流域 NDVI 对气候变化响应的时滞效应[J]. *中国农业气象*, 2012, 33(4): 579-586.
- [18] 杨桂山,徐昔保,李平星. 长江经济带绿色生态廊道建设研究[J]. *地理科学进展*, 2015, 34(11): 1356-1367.
- [19] 甘元芳,张璇. 长江经济带国家重点生态功能区生态状况分析与评价[J]. *测绘*, 2019, 42(1): 36-41.
- [20] 卓嘎,陈思蓉,周兵. 青藏高原植被覆盖时空变化及其对气候因子的响应[J]. *生态学报*, 2018, 38(9): 3208-3218.
- [21] 陈云浩,李晓兵,陈晋,等. 1983—1992 年中国陆地植被 NDVI 演变特征的变化矢量分析[J]. *遥感学报*, 2002, 6(1): 12-18.
- [22] 闫萧萧,李晶,杨震. 2000—2016 年陈巴尔虎旗植被覆盖度时空变化遥感动态监测[J]. *中国农业大学学报*, 2018, 23(6): 121-129.
- [23] 熊巧利,何云玲,李同艳,等. 西南地区生长季植被覆盖时空变化特征及其对气候与地形因子的响应[J]. *水土保持研究*, 2019, 26(6): 259-266.
- [24] 陈桃,包安明,何大明. 基于 MODIS NDVI 的攀枝花市植被覆盖变化及其驱动力[J]. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(8): 1847-1857.