

基于连续时间序列 NDVI 数据的中国生态状况 时空变化特征

宗加权¹, 白淑英¹, 冯朝阳², 蒲阳¹

(1.南京信息工程大学, 南京 210044; 2.中国环境科学研究院,
国家环境保护区域生态过程与功能评估重点实验室, 北京 100012)

摘 要:植被是表征生态环境的重要指标, NDVI 则是反映植被状况的重要指标, 通过 NDVI 的时空变化特征可以揭示区域生态环境状况。基于 1981—2015 年的 GIMMS NDVI_{3g} 和 2000—2018 年 MODIS NDVI 数据, 利用二者相同时间段内的数据建立拟合方程, 对 1981—2000 年 GIMMS NDVI_{3g} 进行拟合修正, 构建 1981—2018 年长时间序列的 NDVI 数据集, 选择非耕地、非聚落地区和湿地等的 NDVI, 采用趋势分析方法分析中国近 40 年来 NDVI 的生态状况时空分布特征及变化规律, 并统计分析不同生态系统类型的 NDVI 变化特征, 用以反映中国近 40 年来生态状况的时空变化状况。结果表明:除 2000 年、2001 年, 修正后 GIMMS NDVI 具有与 MODIS NDVI 相似的年份和月份变化规律; NDVI 空间分布呈现东北(0.775)、中南(0.732)、华东(0.668)高, 西南(0.485)、华北(0.471)、西北(0.275)低; 近 40 年来 NDVI 整体稳定; 森林和草地生态系统状况整体呈向好趋势; 荒漠、水体和湿地、其他生态系统的生态状况变差, NDVI 下降趋势分别为: $-0.0006/a$, $-0.0017/a$, $-0.0007/a$ 。研究为维护中国生态环境状况、保护生物多样性和开展生态环境评价提供决策支持。

关键词: GIMMS NDVI_{3g}; MODIS NDVI; 生态系统; 时空变化

中图分类号: TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2021)01-0132-07

Spatiotemporal Variation Characteristics of Ecological Status in China Based on Continuous Time Series NDVI Data

ZONG Jiaquan¹, BAI Shuying¹, FENG Chaoyang², PU Yang¹

(1. Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;

2. State Environmental Protection Key Laboratory of Regional Eco-process and Function
Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: Vegetation is an important indicator to characterize the ecological environment, and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) is an important indicator to reflect the status of vegetation. The spatiotemporal characteristics of NDVI can reveal the regional ecological environment. This study used the data in the same period to establish a fitting equation based on data production of GIMMS NDVI_{3g} from 1981—2015 and MODIS NDVI from 2000—2018. We fitted and modified the GIMMS NDVI_{3g} from 1981—2000 to construct a long-term sequence (1981—2018) of NDVI dataset. NDVI dataset was selected from non-arable land, non-settlement areas, and wetlands. We applied the trend analysis method to analyze the spatial-temporal distribution characteristics and changing patterns of NDVI's ecological status in China in the past 40 years. It also statistically analyzed NDVI of different ecosystem types. These change features can reflect the spatiotemporal variability of China's ecological status in the past 40 years. The results showed that the revised GIMMS NDVI data had a similar variation pattern with MODIS NDVI data on a year and month time

收稿日期: 2020-02-13

修回日期: 2020-03-19

资助项目: 生态环境部“三定”职责项目“全国生态状况遥感调查与评估”(22110499002)

第一作者: 宗加权(1996—), 男, 江苏如皋人, 硕士研究生, 研究方向为生态环境遥感。E-mail: zongjiaquan@nuist.edu.cn

通信作者: 白淑英(1973—), 女, 内蒙古宁城县人, 博士, 副教授, 主要研究方向为遥感和 GIS 技术在土地利用/覆被变化、生态环境、气象灾害等方面的应用。E-mail: baishu-ying@163.com

scale except for 2000 and 2001; the spatial distribution of NDVI showed that NDVI value was high in the northeast (0.775), central south (0.732), and eastern china (0.668), and was low in the southwest (0.485), north (0.471), and northwest china (0.275); in the past 40 years, NDVI overall kept stable; the status of forest and grassland ecosystems presented a positive trend, but the ecological conditions from deserts, water bodies and wetlands deteriorated; the ecological conditions of other ecosystems have deteriorated, and the downward trends of NDVI are: $-0.000\ 6$, $-0.001\ 7$, $-0.000\ 7$ per year, respectively. This study attempts to provide decision-making support for maintaining China's ecological environment, to protect biodiversity, and to conduct ecological environment assessment.

Keywords: GIMMS NDVI_{3g}; MODIS NDVI; ecosystem; spatiotemporal change

植被是陆地生态系统中的重要组成部分,在陆地表层能量交换、水分循环和生物地球化学循环过程中扮演着重要角色^[1],植被覆盖度变化是生态环境变化的直接结果,很大程度上表示了生态环境总体状况^[2]。相对于传统实地调查植被覆盖特征费时费力,通过遥感手段获取数据,优势有空间范围覆盖面积大、时间序列长、方便获取等。归一化差值植被指数(NDVI)是目前常用的研究地表植被覆盖特征的重要指标之一^[3],长时间序列监测植被覆盖特征变化对更好地模拟陆地生态系统的动态变化特征具有重要意义^[4]。AVHRR NDVI 是目前时间序列最长的全球连续数据集,具有很高的科研价值和实际意义^[5-6]; MODIS NDVI 是从 2000 年开始的数据集,提高了叶绿素敏感度和空间分辨率、排除了大气水汽的干扰、改善了合成方法,但时间序列长度有限。探寻两者间的关系,通过数据拟合构建长时间序列的 NDVI 数据集,是实现植被长期观测的关键^[7-8]。一些学者基于不同 NDVI 数据集重构 NDVI 数据,并结合气象数据等分析了植被状况的时空变化特征,如:李净等^[9]基于重构后的数据产品和植被类型数据集,分析了不同时期植被 NDVI 变化特征,发现西北地区 NDVI 整体呈上升趋势;李飞等^[10]根据 MODIS NDVI 与 AVHRR 数据构建了较长时间序列 NDVI 数据集,采用相关性分析法分析了全国农业、森林、草地与稀疏植被区植被活动的变化特征,结果指出近 30 a 来中国陆地植被活动整体增强,这与方精云等^[11]利用 AVHRR NDVI 研究中国地区植被活动的结果相同。赵玉萍等^[12]利用 1982—2003 年 GIMMS NDVI 数据集和逐月气象资料,用相关分析法研究了藏北高原草地生态系统 NDVI 与气候因子的相关性及滞后性,得到 NDVI 与月平均气温等呈高度正相关($p < 0.001$)。刘可等^[13]利用 1982—2012 年 GIMMS NDVI_{3g}和中国陆地生态系统类型数据,采用一元线性经验模态分解和相关分析方法,研究了近 30 a 中国各生态系统 NDVI 的时空变化特征,结果表明近 30 a 中国植被活动显著上升,农田、森林、草地和水体

与湿地生态系统的 NDVI 总体为非稳定上升趋势。中国陆地生态系统中的森林、草原、荒漠、水体与湿地和其他生态系统类型是对土地利用/覆盖的分类判别汇总,对生态系统状况有指示意义。水体与湿地在生态环境评价中起到重要作用,其水体与湿地状况好坏和面积变化影响着生态环境状况,水域面积的减少会导致生态环境恶化^[14]。水体和湿地因为水源丰富、土壤肥沃,很容易被开垦为良田和进行水产的养殖,水体与湿地生态系统因此被严重破坏^[15],牛振国等^[16]研究表明,近 30 a,中国湿地类型由湿地转化为非湿地主要是气候变化和农业活动引起的。

以上研究存在一些问题,首先采用的 AVHRR 数据为一代数据产品,数据时间跨度不长,数据的空间分辨率不高($8\text{ km} \times 8\text{ km}$);其次大多数研究多从行政区划和地理单元探究植被活动特征,未考虑到不同生态系统间的镶嵌性,因此难以详细地探究不同生态系统间 NDVI 的差异。对此,本研究基于重构的 1981—2018 年长时间序列植被指数数据集(GIMMS NDVI_{3g}和 MODIS NDVI),采用分区统计、NDVI 趋势分析法,分析中国大陆范围(包含香港、澳门,未包含中国台湾省)非耕地、非聚落和湿地生态系统 NDVI 的空间分布和时间动态变化特征,试图为中国生态环境保护 and 可持续发展提供决策依据。

1 数据来源及预处理

1.1 数据来源

本研究利用 2000 年 2 月—2018 年 12 月 MODIS13 A3 数据集植被指数产品的月合成数据(<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/>),空间分辨率为 1 km。还有美国国家航天航空局 NASA Goddard Space Flight Center 的全球监测与模型研究组(GIMMS)采用最大值合成法(MVC)合成的 15 d、空间分辨率为 8 km 的最新 GIMMS NDVI 3g.v1 数据,时间范围为 1981 年 7 月—2015 年 12 月(<https://ecocast.arc.nasa.gov/data/pub/gimms/3g.v1>)。

中国陆地生态系统数据来源于中国科学院地理科学与资源研究所、中国科学院资源环境科学数据中心的“资源环境数据云平台”。包括 1980 年、1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年,共 7 时期数据。该数据是在遥感解译获取的 1:10 万比例尺土地利用/土地覆盖数据的基础上,通过对各生态系统类型进行辨识和研究,经过分类处理形成多期中国陆地生态系统类型空间分布数据集,矢量数据栅格化生成的 1 km 栅格数据。生态系统类型依据土地利用/土地覆盖遥感分类系统,归分为 7 大生态系统类型:(1) 农田生态系统,主要包括水田和旱地;(2) 森林生态系统,主要包括密林地(有林地)、灌丛、疏林地、其他林地;(3) 草地生态系统,主要包括高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地;(4) 水体与湿地生态系统,主要包括沼泽地、河渠、湖泊、水库、冰川与永久积雪、滩地;(5) 聚落生态系统,主要包括城镇、农村居民地、工矿;(6) 荒漠生态系统,主要包括沙地、戈壁、盐碱地;高寒荒漠;(7) 其他生态系统,主要包括裸土地和裸岩砾石地。

1.2 数据预处理

采用 MRT 软件对 MODIS NDVI 数据进行拼接,投影转换,数据格式转换。采用 Matlab 软件对 GIMMS NDVI 数据进行逐月最大值合成(MVC),进一步减少云的影响,并降低月内物候循环的影响^[17],还原真值,格式转换。由于 GIMMS NDVI 数据的空间分辨率约为 8 km,将 GIMMS NDVI 由 8 km 重采样为 1 km 的数据,不损失影像信息,以匹配 MODIS NDVI。本文采用的地理坐标系是 WGS-84,Albers 投影坐标系,随后统一采用 IDL 程序对两套数据进行逐月裁切、掩膜、还原真值等操作。

2 研究方法

MODIS NDVI 数据被称为 GIMMS NDVI 数据的延续^[18],两套数据集有一段时间的重叠部分,即 2000 年 2 月份—2015 年 12 月份。已有学者^[17,19]的

研究表明可以利用两套数据的重叠时间部分,以此建立逐月线性转换方程,但未能从文章中找出适合本研究区域的转换方程,本研究中建立的最佳转换方程为 $y=0.970034x+0.016953$,拟合方程的判定系数 R^2 为 0.88, $p<0.01$,拟合效果较好。利用转换方程将 1981 年 7 月—2001 年 12 月的 GIMMS NDVI 进行修正拟合,为了保留 MODIS 数据 1 km 的空间分辨率,将 GIMMS NDVI 数据也重采样为 1 km,并连接 MODIS NDVI 2002 年 1 月至 2018 年 12 月数据,最终获得中国大陆地区的 1981 年 7 月至 2018 年 12 月长时间序列空间分辨率为 1 km 的 NDVI 数据集。

2.1 NDVI 时空变化趋势分析法

2.1.1 NDVI 时间变化趋势分析法 趋势分析是对一组随时间变化的变量进行回归分析,得到其变化趋势的方法。对多年植被指数数据逐像元 NDVI 值进行一元线性回归,得到研究区内植被随时间的变化趋势,即 NDVI 的年际变化。计算公式为^[20-21]:

$$\text{slope} = \frac{n \times \sum_{k=1}^n k \times Y_{\text{NDVI}k} - \sum_{k=1}^n k \sum_{k=1}^n Y_{\text{NDVI}k}}{n \times \sum_{k=1}^n k^2 - (\sum_{k=1}^n k)^2} \quad (1)$$

式中: k 为研究时间段内的年数,取 $1-n$; $Y_{\text{NDVI}k}$ 是第 k 年某季相的 NDVI 平均值,如夏季 NDVI 平均值采用当年 6 月、7 月、8 月份 NDVI 值求得平均; $\text{slope}>0$ 表示植被覆盖呈增加趋势; slope 小于 0 则相反; $\text{slope}=0$ 表示植被覆盖没有明显的变化。

2.1.2 NDVI 空间变化分析法 将大陆地区分为六大区域(东北、华北、华东、中南、西北、西南),分区统计分析 NDVI 的总体变化特征,能整体上体现 NDVI 均值和趋势变化情况。

2.2 主要生态系统类型的 NDVI 时空变化分析法

采用分区统计的方法来统计不同生态系统 NDVI 的变化情况,及其空间分异特征。由于生态系统数据为多年一幅的栅格数据,为充分利用生态系统数据,将连续时间序列的 NDVI 与最邻近年的生态系统数据进行对应统计,表 1 是分区统计对应表。

表 1 分区统计年份对应

生态系统	1980	1990	1995	2000	2005	2010	2015
NDVI	1981—1987	1988—1992	1993—1997	1998—2002	2003—2007	2008—2012	2013—2018

3 结果与分析

3.1 中国植被 NDVI 时空变化分析

3.1.1 中国植被 NDVI 时间变化分析 图 1 是整个中国大陆范围内 NDVI 大于 0 值,2000 年 2 月至 2015 年 12 月 GIMMS NDVI 平均值修正前后与 MODIS NDVI 平均值变化曲线,由图 1 可知,原始

GIMMS NDVI 的周期性变化趋势与 MODIS NDVI 相似,每年冬季原始 GIMMS NDVI 都小于 MODIS NDVI,在植被生长季,两者相差不大,修正后 GIMMS NDVI 与 MODIS NDVI 值相接近,具有一致性。值得注意的是 MODIS NDVI 数据在 2000 年初和 2001 年冬季,其值明显低于修正前后 GIMMS NDVI 数据,可见 MODIS 数据在刚获取的阶段,数据质量可能不稳定,所以对

于中国大陆地区,在使用 MODIS NDVI 数据时,可以从 2001 年 7 月份开始选用。

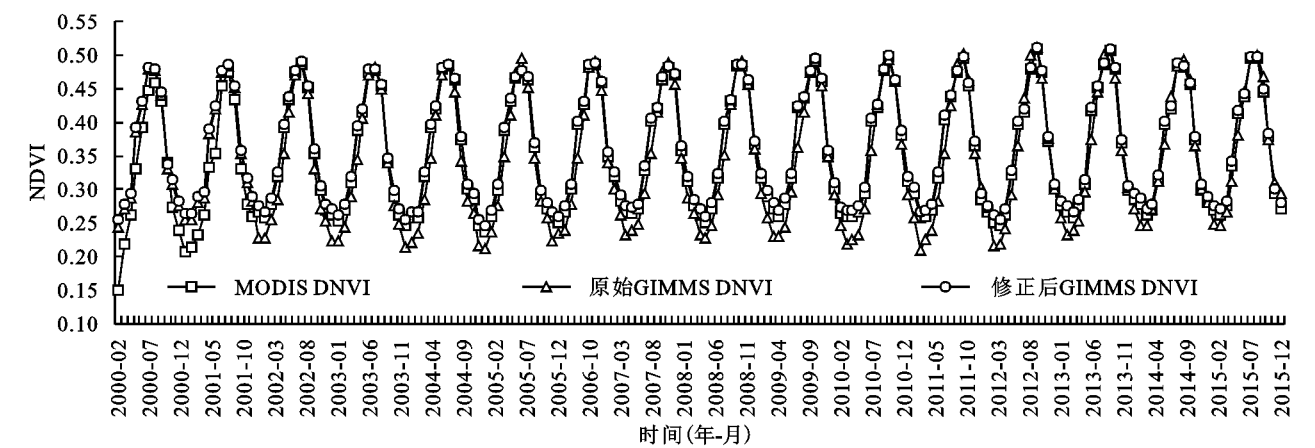


图 1 2000 年 2 月至 2015 年 12 月 MODIS NDVI、原始与修正后 GIMMS NDVI 时间序列曲线对比

表 2 不同数据年平均值、最大值、最小值和年平均值环比增长率

年份	原始 GIMMS NDVI				MODIS NDVI				修正后 GIMMS NDVI			
	平均值	最大值	最小值	R/%	平均值	最大值	最小值	R/%	平均值	最大值	最小值	R/%
2000	0.357	0.479	0.245	—	0.322	0.460	0.150	—	0.363	0.482	0.255	—
2001	0.353	0.484	0.254	−0.011	0.319	0.475	0.208	−0.009	0.359	0.486	0.264	−0.010
2002	0.335	0.486	0.228	−0.054	0.357	0.488	0.257	0.105	0.363	0.490	0.267	0.010
2003	0.333	0.482	0.223	−0.006	0.350	0.476	0.254	−0.020	0.356	0.479	0.263	−0.019
2004	0.333	0.486	0.214	0.001	0.357	0.485	0.247	0.019	0.363	0.487	0.256	0.018
2005	0.334	0.496	0.211	0.002	0.349	0.475	0.237	−0.020	0.356	0.478	0.247	−0.019
2006	0.338	0.490	0.223	0.012	0.357	0.485	0.252	0.021	0.363	0.488	0.261	0.020
2007	0.342	0.489	0.232	0.011	0.359	0.482	0.264	0.007	0.365	0.484	0.273	0.007
2008	0.344	0.490	0.228	0.005	0.361	0.484	0.251	0.004	0.367	0.486	0.261	0.004
2009	0.341	0.491	0.229	−0.009	0.361	0.492	0.261	0.001	0.367	0.495	0.270	0.001
2010	0.341	0.494	0.220	0.001	0.361	0.497	0.260	−0.001	0.367	0.499	0.269	−0.001
2011	0.343	0.501	0.210	0.007	0.357	0.496	0.257	−0.009	0.364	0.498	0.266	−0.008
2012	0.348	0.512	0.218	0.015	0.359	0.509	0.246	0.003	0.365	0.511	0.256	0.003
2013	0.354	0.506	0.232	0.015	0.367	0.506	0.257	0.022	0.373	0.508	0.266	0.021
2014	0.355	0.492	0.246	0.004	0.360	0.485	0.261	−0.019	0.366	0.487	0.270	−0.018
2015	0.361	0.499	0.245	0.017	0.364	0.495	0.261	0.012	0.370	0.497	0.271	0.011

注:R 表示平均值环比增长率。

由表 2 看出,修正后 GIMMS NDVI 在 3 种数据中的平均值和最小值都为最大,平均值最大为 0.373,最小值最大为 0.273;除了 2000 年和 2001 年,修正后 GIMMS NDVI 与 MODIS NDVI 的年平均值环比增长率和最大值有相似的变化规律,且有相同的 NDVI 线性趋势(0.000 8/a),最大值最小仅相差 0.002。这说明,除了 2000 年、2001 年,修正后 GIMMS NDVI 在年尺度上与 MODIS NDVI 相似的变化规律。

从表 3 中看出,MODIS NDVI 和修正后 GIMMS NDVI 在 2 月至 5 月 NDVI 平均值环比增长率逐渐增加,而从 5 月至 6 月 NDVI 值月平均环比增长率有所下降,这是因为冬小麦成熟收割,新播种的作物未生长成熟造成的 NDVI 值下降现象,原始 GIMMS NDVI 未能捕捉到这个现象;修正后 GIMMS NDVI 平均值和最大值与 MODIS NDVI 有

相似的变化规律,GIMMS NDVI 月均值环比增长率最大为 0.266%,MODIS NDVI 为 0.273%;修正后 GIMMS NDVI 最小值大于 MODIS NDVI,2 月份最大差值为 0.096,这可能是由于 2000 年 2 月份 MODIS NDVI 数据刚刚获取,数据质量不稳定导致 NDVI 值偏低,10 月份相差值最小为 0.008。

3.1.2 中国植被 NDVI 空间变化分析 从图 2 中可以看出中国大陆夏季的 NDVI 的空间分布整体呈现东南和东北高、西北低的格局。在沿海的华北平原、长江三角洲和珠江三角洲等经济发达地区呈现低 NDVI 值的现象,这是由于人类自身发展的需要,NDVI 值随着城镇化的发展而降低;在新疆的阿尔泰山南坡、天山山脉北坡的 NDVI 值却反常高,最高可达到 0.896,是因为在准格尔盆地西部有缺口,大西洋和北冰洋的水汽能够影响到两侧的山脉,形成迎风

坡,对于植被生长有利;另外,在西北新疆塔里木盆地、准格尔盆地、甘肃西北部、青海西北部、内蒙古西部有沙漠、荒漠戈壁等,西藏自治区内的高原有高原荒漠和裸岩,气候恶劣,不利于植物生长的环境,所以 NDVI 值普遍偏低,平均值为 0.275。华北平原主要有农田,冬小麦收割之后,夏季播种农作物还未完全

长成,掺杂土壤背景信息,因此 NDVI 值较低,平均值为 0.471。位于华东地区的浙江、福建有丘陵,贵州、重庆、湖南和湖北西部有山地适宜森林生长,NDVI 值较高,平均值为 0.668。内蒙古东北部和东北三省内有大兴安岭、小兴安岭和长白山山脉,夏季森林和农作物生长旺盛 NDVI 值较高,平均值为 0.775。

表 3 不同数据月平均值、最大值、最小值和月平均值环比增长率

月份	原始 GIMMS NDVI				MODIS NDVI				修正后 GIMMS NDVI			
	平均值	最大值	最小值	R/%	平均值	最大值	最小值	R/%	平均值	最大值	最小值	R/%
1 月	0.229	0.255	0.210	—	0.258	0.279	0.208	—	0.270	0.288	0.256	—
2 月	0.232	0.254	0.211	0.017	0.246	0.264	0.150	−0.044	0.264	0.273	0.247	−0.022
3 月	0.250	0.281	0.232	0.076	0.264	0.279	0.218	0.071	0.279	0.289	0.267	0.057
4 月	0.290	0.313	0.270	0.159	0.308	0.336	0.262	0.166	0.319	0.343	0.295	0.141
5 月	0.361	0.386	0.344	0.245	0.392	0.421	0.332	0.273	0.403	0.425	0.389	0.266
6 月	0.424	0.446	0.407	0.174	0.421	0.451	0.354	0.075	0.432	0.454	0.420	0.070
7 月	0.481	0.501	0.469	0.137	0.475	0.495	0.447	0.127	0.481	0.497	0.467	0.113
8 月	0.492	0.512	0.477	0.022	0.487	0.509	0.460	0.024	0.491	0.511	0.478	0.020
9 月	0.455	0.468	0.440	−0.075	0.457	0.478	0.432	−0.061	0.462	0.481	0.444	−0.058
10 月	0.352	0.377	0.330	−0.226	0.361	0.382	0.330	−0.211	0.368	0.387	0.338	−0.204
11 月	0.295	0.310	0.272	−0.163	0.298	0.318	0.274	−0.173	0.310	0.326	0.294	−0.156
12 月	0.265	0.294	0.247	−0.099	0.273	0.295	0.239	−0.083	0.286	0.303	0.270	−0.079

注:R 表示平均值环比增长率(%)。

表 4 2018 年夏季中国大陆六大分区 NDVI 均值

六大分区	平均值/a	STD
东北	0.775	0.127
华北	0.471	0.257
华东	0.668	0.157
中南	0.732	0.122
西北	0.275	0.257
西南	0.485	0.285

表 5 1981—2018 年六大分区 NDVI 趋势均值

六大分区	平均值/a	STD
东北	0.000117	0.0031
华北	0.000101	0.0027
华东	0.001059	0.0039
中南	0.001493	0.0033
西北	0.000098	0.0030
西南	0.000324	0.0036

注:东北包含黑龙江、吉林、辽宁;华北,包含内蒙古、北京、天津、河北、山西;华东包含山东、江苏、安徽、上海、浙江、江西、福建;中南包含河南、湖北、湖南、广西、广东、海南;西北,包含新疆、甘肃、青海、宁夏、陕西;西南包含西藏、四川、重庆、贵州、云南;未包含中国台湾。

由图 3 和表 5、6 可以看出过去 38 a 中,有 49.923% 的 NDVI 稳定不变,49.846% 的 NDVI 轻微改善,中国大陆地区整体植被没有发生剧烈变化。西北地区 NDVI 趋势整体无明显变化(0.000 098/a),但新疆天山山脉北坡和塔里木河流域处发现 NDVI 的变化较为剧烈,最大为 0.030 272/a,呈上升趋势;内蒙古阴山南、甘肃省内祁连山、宁夏贺兰山等 NDVI 变化为上升趋势;在经济

发达的长江三角洲、珠江三角洲、京津冀地区 NDVI 趋势呈现下降现象。在西藏藏南地区、内蒙古大兴安岭、东北三省内的小兴安岭和长白山,夏季 NDVI 值较高,而年际变化趋势中呈现下降趋势,说明植被覆盖浓郁,多年以来的植被覆盖有所下降。

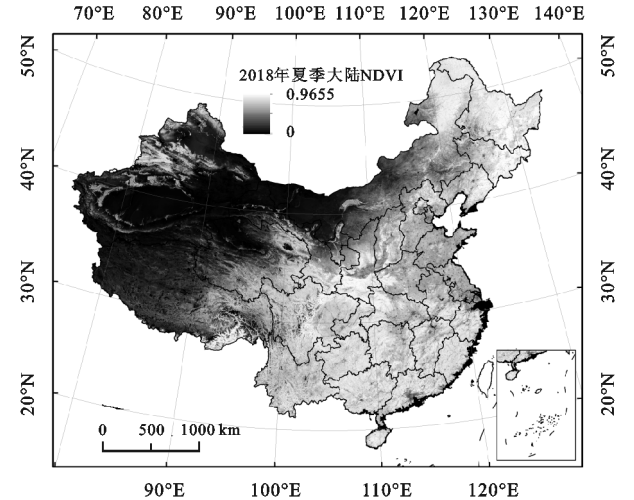


图 2 2018 年夏季中国大陆 NDVI 平均值

表 6 1981—2018 年 NDVI 变化趋势分类级别

类别	slope 变化范围	NDVI 所占百分比/%
严重退化	$\text{slope} \leq -0.03$	0.002
轻微退化	$-0.03 < \text{slope} \leq -0.01$	0.106
稳定不变	$-0.01 < \text{slope} \leq 0.01$	49.923
轻微改善	$0.01 < \text{slope} \leq 0.03$	49.846
明显改善	$\text{slope} > 0.03$	0.123

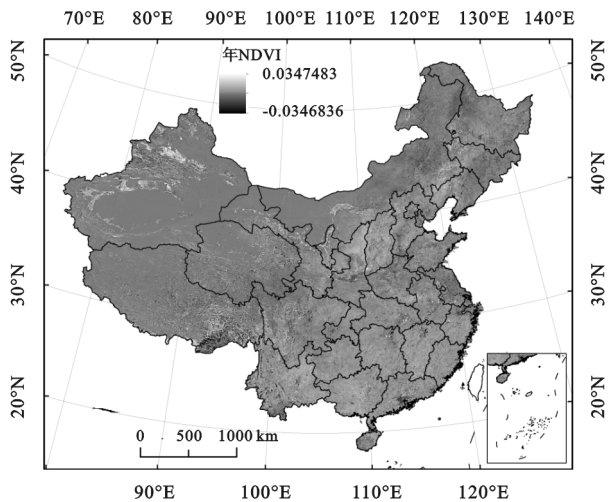


图 3 1981—2018 年中国大陆夏季 NDVI 变化趋势

3.2 主要生态系统类型的 NDVI 变化分析

中国陆地生态系统具体分为农业、森林、草地、水体与湿地、聚落、荒漠和其他共 7 种生态系统类型。农田和聚落受人类活动影响较大,近 30 a 来农作物总产和单产都有所提高^[22],对于全国范围内植被 NDVI 增加是正向作用,但想要更详细地分析中国大陆的生态状况则需要中国陆地生态系统分类数据的支持。自然生态系统有森林、草地、水体与湿地、荒漠或者其他生态系统,这些生态系统类型受人类影响较小,对生态系统状况有指示意义,按表 1 对上述生态系统分区统计其 NDVI 长时间序列变化,有助于中国生物多样性保护和开展生态环境状况评价。

森林和农田生态系统在过去 38 a 中 NDVI 呈现波动式上升,上升趋势分别为 0.001 4/a,0.001 1/a,森林生态系统 NDVI 最低值为 1982 年 0.692,最高值为 2017 年 0.766。1987 年 5 月 6 日至 6 月 2 日大兴

安岭发生特大森林火灾;2000 年 6 月 17,18 日黑龙江大兴安岭呼中区呼源、松岭区发生特大森林火灾,同年 8 月 6 日新疆裕民县巴旦杏林保护区发生重大森林火灾;2002 年 7 月 28 日和 2004 年 6 月 22 日内蒙古大兴安岭北部原始林区分别发生特大、重大森林大火;2018 年 6 月 1 日和 2 日内蒙古大兴安岭汗马国家级自然保护区和北部原始林区发生森林火灾等,这些森林大火使 NDVI 值在时间序列上呈现出偏低或者谷。在过去 38 a 中草地生态系统的 NDVI 在 0.358 至 0.402 间变化,草地生态系统 NDVI 变化较为剧烈,说明 NDVI 对于不同覆盖度草地的变化敏感,1995 年、1997 年锡林浩特市草原分别发生 3 次和 1 次特大火灾,该年份 NDVI 值有所下降,草地生态环境状况变差。荒漠生态系统的 NDVI 在过去 38 a 中呈下降趋势(−0.000 6/a),最低为 0.094,最高为 0.126,荒漠生态系统主要包含沙地、戈壁、盐碱地、高寒荒漠,这些土地类型环境恶劣,十分脆弱,NDVI 能够反映出其变化状况,在 1981—2001 年 NDVI 几乎没有大的变化,处于相对稳定的状态,而在 2002—2018 年 NDVI 值的上升趋势为 0.000 9/a,说明近 17 a 的生态环境呈现向好的态势发展。其他生态系统的 NDVI 在过去 38 a 中呈现下降趋势(−0.000 7/a),最低为 0.138,最高为 0.184,与荒漠生态系统类似,在 1981—2001 年,NDVI 也变化不大,2002—2018 年,其 NDVI 的上升趋势与荒漠生态系统一样,生态系统呈现向好态势。水体与湿地生态系统 NDVI 在过去 38 a 中呈现下降趋势(−0.001 7/a),最低为 0.311,最高为 0.401,在 1981—2001 年 NDVI 呈现较稳定状态,在 2002—2018 年中呈现上升趋势(0.001 6/a)。

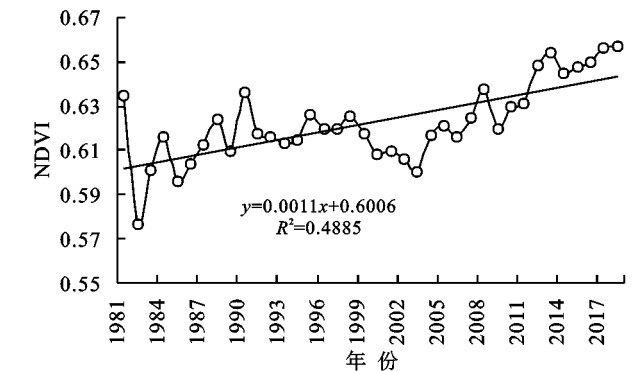
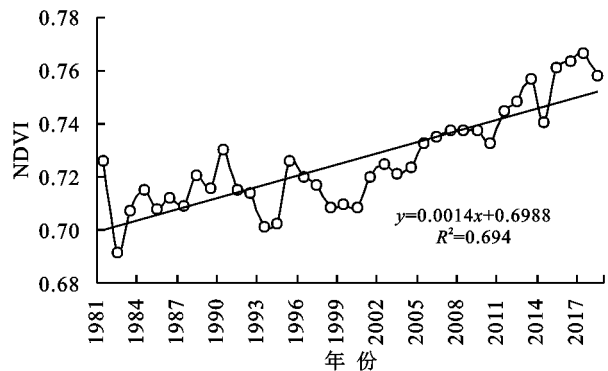


图 4 1981—2018 年森林和农田生态系统 NDVI 变化

4 讨论

本研究利用 NDVI 探究生态系统状况,但可能有所欠缺,另如气候、地形等多种因素可以加以综合考虑;趋势线分析方法能很好地体现 NDVI 的变化趋势,但是如何寻找合适的 NDVI 变化趋势分级区

间,需要进一步研究。刘可等^[13]仅使用 2010 年一时期的中国陆地生态系统类型数据统计近 30 a GIMMS NDVI_{3g} 数据,指出森林、农田、草地和水体与湿地总体 NDVI 非稳定上升,本文利用生态系统类型数据统计重构后的 NDVI 数据,指出森林和农田生态系统 NDVI 整体呈增强趋势,草地生态系统

NDVI 呈非稳定上升趋势,这可能是因为本文利用的是多期生态系统类型数据。利用生态系统分区统计不同年份的 NDVI 数据时,虽然尽可能利用生态系统数据,但最终统计的结果可能与实际的有差别,荒漠、水体与湿地和其他生态系统的 NDVI 曲线都在 2000—2001 年处有下降的陡坡,这可能是因为对 GIMMS NDVI 数据进行重采样,仍无法解决其分辨率粗的问题,但若将 MODIS NDVI 数据进行降分辨率,则会损失大量信息。

5 结论

(1) 构建数据集时,修正后 GIMMS NDVI 和 MODIS NDVI 相似的年份和月份变化规律;中国大陆地区 MODIS NDVI 在 2000 年、2001 年的冬季数据质量不佳,可以从 2001 年 7 月开始选用数据。中国大陆地区夏季 NDVI 整体分布特征呈现西北低,东南和东北高,在经济发达区域,由于人类经济社会活动因素出现低 NDVI 值现象。

(2) 在过去 38 a 中,对受人类活动影响较小的生态系统,森林生态系统植被呈上升趋势,森林火灾对森林的影响在 NDVI 序列变化能够反映出来;草地生态系统呈现稳定趋势,NDVI 变化较为剧烈,NDVI 序列可以作为监测草地生态状况变化的指示;荒漠、水体与湿地、其他生态系统的都呈下降趋势,三者在 1981—2001 年 NDVI 变化都较为稳定,且 2002 年以后 NDVI 呈现向好态势发展,这与 MODIS 传感器分辨率和波段宽度设置优于 AVHRR 传感器有关。

参考文献:

- [1] 王根绪,沈永平,钱鞠,等.高寒草地植被覆盖变化对土壤水分循环影响研究[J].冰川冻土,2003,25(6):653-659.
- [2] 张新时.中国植被及其地理格局:中华人民共和国植被图(1:1000000)说明书[M].北京:地质出版社,2007:3-4.
- [3] Stow D A, Hope A, Mcguire D, et al. Remote sensing of vegetation and land-cover change in Arctic Tundra Ecosystems[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 89(3):281-308.
- [4] 马明国,王建,王雪梅.基于遥感的植被年际变化及其与气候关系研究进展[J].遥感学报,2006,10(3):421-431.
- [5] 赵慧颖,乌力吉,郝文俊.气候变化对呼伦湖湿地及其周边地区生态环境演变的影响[J].生态学报,2008,26(3):1064-1071.
- [6] Huete A, Justice C, Van Leeuwen W. MODIS vegetation index(MOD13)[R]. Algorithm Theoretical Basis Document, 1999.
- [7] Gallo K, Ji L, Reed B, et al. Comparison of MODIS and AVHRR 16-day normalized difference vegetation index composite data[J]. Geophysical Research Letters, 2004,31(7):1-4.
- [8] 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(16):131-147.
- [9] 李净,刘红兵,李龙,等.基于多源遥感数据集的近 30 a 西北地区植被动态变化研究[J].干旱区地理,2016,39(2):387-394.
- [10] 李飞,曾源,李晓松,等.近 30 年中国陆地植被活动遥感监测[J].中国科学:地球科学,2014,44(8):1671-1678.
- [11] 方精云,朴世龙,贺金生,等.近 20 年来中国植被活动在增强[J].中国科学 C 辑,2003,33(6):554-565.
- [12] 赵玉萍,张宪洲,王景升,等.1982—2003 年藏北高原草地生态系统 NDVI 与气候因子的相关分析[J].资源科学,2009,31(11):1988-1998.
- [13] 刘可,杜灵通,侯静,等.近 30 年中国陆地生态系统 NDVI 时空变化特征[J].生态学报,2018,38(6):1885-1896.
- [14] De Jong R, De Bruin S, Schaepman M E, et al. Quantitative mapping of global land degradation using Earth observations[J]. International Journal of Remote Sensing, 2011,32(21):6823-6853.
- [15] 宫宁.近三十年中国湿地变化及其驱动力分析[D].山东泰安:山东农业大学,2015.
- [16] 牛振国,张海英,王显威,等.1978—2008 年中国湿地类型变化[J].科学通报,2012,57(16):1400-1411.
- [17] Gallo K, Ji L, Reed B, et al. Multi-platform comparisons of MODIS and AVHRR normalized difference vegetation index data[J]. Remote Sensing of Environment, 2005,99(3):221-231.
- [18] 赵冰茹,刘闯,王晶杰,等.锡林郭勒草地 MODIS 植被指数时空变化研究[J].中国草地,2004,26(1):1-8.
- [19] 徐永明,张宇,白琳.基于遥感数据监测若尔盖高原植被覆盖度变化[J].高原气象,2016,35(3):643-650.
- [20] 费明哲,张增信,原立峰,等. TRMM 降水产品在鄱阳湖流域的精度评价[J].长江流域资源与环境,2015,24(8):1322-1330.
- [21] 赵紫薇.1982—2013 年青藏高原植被动态变化时序分析[J].测绘科学,2017,42(6):62-70.
- [22] 郭梁,Andreas Wilkes,于海英,等.中国主要农作物产量波动影响因素分析[J].植物分类与资源学报,2013,35(4):513-521.