

DOI: 10.5846/stxb201603010354

王震, 闫文德, 刘曙光, 高超, 谌小勇. 基于 MODIS 数据的中国三种主要土地类型变化的空间特征分析. 生态学报, 2017, 37(10): - .
Wang Z, Yan W D, Liu S G, Gao C, Chen X Y. Spatial-temporal characteristics of three main land-use types in China based on MODIS data. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(10): - .

基于 MODIS 数据的中国三种主要土地类型变化的空间特征分析

王震¹, 闫文德^{1,2,3,*}, 刘曙光^{1,2,4}, 高超^{1,2,3}, 谌小勇^{1,2,5}

1 中南林业科技大学, 长沙 410004

2 南方林业生态应用技术国家工程实验室, 长沙 410004

3 城市森林生态湖南省重点实验室, 长沙 410004

4 美国地质勘探局 地球资源观测与科学研究中心, 苏福尔斯 SD57198

5 州长州立大学, 美国伊利诺伊州 IL60484

摘要: 人类活动使得土地利用和植被覆盖发生了巨大变化, 直接影响着全球气候。本研究通过从 2000—2013 年对中国三种主要土地利用类型的 NDVI 变化特征进行了分析, 结果表明: ①14 年来, 中国三种主要土地利用类型 NDVI 平均值均有增强的趋势。②三种主要土地利用类型中除耕地中的水田, 林地中的有林地和草地中的高覆盖草地增长速率不显著外, 其他土地类型增长速率均显著。③三种土地利用类型均以改善面积大于退化面积, 耕地中改善面积占总耕地的 64.21%, 退化的区域占 18.50%; 林地改善的区域占总林地的 54.21%, 退化的区域占 20.13%; 草地改善的区域占 55.53%, 退化的区域占 18.23%。三种土地类型均有所改善且改善明显的区域主要集中在甘肃以南, 陕西以北和东北部分地区。

关键词: 土地利用类型; NDVI; 中国; 植被覆盖

Spatial-temporal characteristics of three main land-use types in China based on MODIS data

WANG Zhen¹, YAN Wende^{1,2,3,*}, LIU Shuguang^{1,2,4}, GAO Chao^{1,2,3}, CHEN Xiaoyong^{1,2,5}

1 Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China

2 National Engineering Laboratory for Applied Technology of Forestry&Ecology in South China, Changsha 410004, China

3 Key Laboratory of urban forest ecology in Hunan Province, Changsha 410004, China

4 U.S. Geological Survey (USGS), Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, SD 57198, USA

5 College of Arts and Sciences, Governors State University, University Park, IL 60484, USA

Abstract: Human activities have resulted in considerable change in land use and land cover, which directly influence the global climate system. In this study, spatial and temporal changes were investigated in three land-use types in China from 2000 to 2013, using MODIS data. The three land-use types consisted of woodland, grassland, and farmland. The purpose of this study was to describe the characteristics of vegetation cover change at the national scale using remote sense information. The results showed that: (1) The average of normalized difference vegetation index (NDVI) increased in the three land-use types over the past 14 years. The largest growth rate was found in grassland, whereas the most stable growth rate was in

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201404316); 湖南省自然科学创新研究群体基金(湘基金委字[2013]7号); 国家林业局软科学研究项目(2013-R09); 湖南省高校创新平台开放基金项目(12K070); 湖南省教育厅一般项目(15C1431); 中南林业科技大学青年科学研究基金重点项目(QJ2013005A); 城市森林生态湖南省重点实验室资助

收稿日期: 2016-03-01; 网络出版日期: 2016-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: csfuywd@ hotmail.com

woodland. An increasing tendency in the NDVI in these land covers was mainly attributed to six national key forestry projects in China over the past 14 years, including conservation of natural forests; development of protective forests along the Changjiang River; planning for farmland return to woodland; management of the desertification around the Beijing area; construction of the natural preserve area; and development of forestation with fast-growth tree species. (2) The increases in the NDVI were significant in all sub-classifications of land covers under the three main land-use types, except for paddy fields in farmland, closed-forest land in woodland, and high-coverage grassland in grassland. The most significant growth tendency was found in dry-land in farmland, the four cover types (forested-land, shrub-land, open-forest land, and other forest land) in woodland, and medium- and low-coverage grassland in grassland. (3) The improved area with higher NDVIs was larger than the degraded area in the three different types of land use. Specifically, the improved area and degraded area accounted for 64.21% and 18.50% of the total farmland, respectively. The corresponding values were 54.21 and 20.13%, and 55.53 and 18.23% in woodland and grassland, respectively. The significantly improved areas within all three land types were mainly concentrated south of the Gansu Province and Shaanxi Province, and in parts of northeastern China. The improved areas with higher NDVIs in farmland were mainly located in the northwest region of China, whereas the significantly reduced areas in farmland were found in the urban and high population areas in eastern China. The reduced areas in woodlands were mainly concentrated in the northeastern regions with high population and forested lands along the eastern coast of China. The reduction in forested area was mainly due to urbanization in this region in the past years. However, overall the NDVI increased in this region because of the return of farmland to forest, forestation, and establishment of the natural forest protection area. Our results indicated that the NDVI can be used as a suitable index to describe the spatial and temporal changes in vegetation cover at regional and national levels.

Key Words: land use type; NDVI; China; vegetation coverage

土地利用变化是全球变化的研究核心,而植被是土地利用类型变化不可或缺部分^[1]。研究植被覆盖变化是研究全球气候变化对环境影响的直接条件,NDVI(Normalized Difference Vegetable Index)是指示大尺度上植被覆盖和植被生产力的良好指标^[2-3]。随着遥感监测技术的不断成熟,利用遥感卫星对地球监测的范围也越来越广,国内外利用遥感对植被覆盖变化的监测已经有相当多的研究^[4]。目前,获取植被覆盖变化监测数据的卫星有许多;NOAA-AVHRR,SPOT-VGT,EOS-MODIS 等,其中 MODIS-NDVI 数据是从 2000 年开始,时间序列相对完整,数据分辨率也相对较高的数据集,在植被覆盖变化监测方面有较好的应用空间^[5]。国内外对于中国 NDVI 长时间序列植被覆盖变化特征的研究较少,一般是存在于片区或省市的长时间序列的研究或者是季节性的研究^[6]。对大尺度,长时间序列对中国土地利用类型植被覆盖变化的研究存在研究的必要性,是监测我国近年来植被响应气候或国家政策的重要依据,也有助于相关部门对中国全局的了解和决策^[7-10]。

1 数据处理

1.1 数据来源

研究选自美国地质局(NASA)的 MODIS/Terra 16 天合成 MOD13Q 产品,分辨率为 1km,时间刻度为 2000 年到 2013 年。数据预先采用美国 NASA 提供的 MRT 软件选取 NDVI 数据集和进行投影转换,本文选用 WGS84 投影坐标系;然后利用 Arcgis10.0 和中国矢量边界图进行裁剪,并进行 MVC 最大化合成,得到 2000 年—2013 年年 NDVI 数据集^[11-17]。中国土地利用数据来源于 2000 年中国 1:10 万土地利用类型分类数据集;然后利用 Arcgis10.0 对土地利用类型数据集进行投影和矢量化处理,得到土地利用类型矢量数据集。

1.2 MODIS 数据处理

基于 2000 年至 2013 年年均 MVC 最大化数据集,由于值在-10000 到 10000 之间,所以先把值缩小到-1 至 1 取非负值得到 NDVI 数据集,然后利用批量化裁剪得到逐一土地利用类型 NDVI 地图,再逐一计算平均

NDVI 值构成三种土地利用类型(耕地,林地,草地)时间序列数据集,最后对数据进行线性回归分析得到每一种土地利用类型时间序列趋势图,趋势方程和相关系数^[18-20]。本研究数据处理均采用 Arcgis10.0 和 python2.7 处理或编程处理。

1.3 一元线性回归趋势分析

植被指数的逐年内每个栅格变化之间对应时间序列存在一定的相关性^[21-23]。随着时间的推移栅格内 NDVI 值有减少或增加的趋势,为了体现这种趋势的变化,我们采用一元线性回归分析方程来分析 2000—2013 年中国 NDVI 值得空间分布特征。

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^n i NDVI_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n NDVI_i}{n \sum_{i=1}^n i^2 - \left(\sum_{i=1}^n i\right)^2}$$

式中, K 为斜率, $NDVI_i$ 表示第 i 年 NDVI 值,用该方法可以计算出时间序列下植被覆盖的空间变化趋势, $K > 0$ 表示植被呈改善趋势,反之为退化趋势。这里用该方法计算中国三种土地类型的 NDVI 空间分布趋势图, $K \leq -0.001$ 为退化的趋势, $K \geq 0.001$ 为改善的趋势,其他为基本不变的区域。

2 结果与分析

2.1 三种土地利用类型 NDVI 变化特征分析

图 1 可以看出三种土地类型:林地,耕地和草地 14 年来年平均 NDVI 变化趋势图,图中可以看出三种土地利用类型的植被覆盖指数总的趋势都是明显增加的,中国近十几年来植被总体呈现出增长的趋势,而且增长的显著性较好。其中,林地 NDVI 的增长趋势为 0.002,相关系数为 0.8211,耕地 NDVI 的增长趋势为 0.0022,相关系数为 0.685;草地 NDVI 的增长趋势为 0.0024,相关系数为 0.6403。然而林地有四年 NDVI 处于波峰然后有明显下降,分别是 2002 年,2004 年,2007 年和 2010 年;耕地有五年 NDVI 处于波峰然后有明显下降,分别是 2002 年,2004 年,2008 年,2010 年和 2012 年;草地有三年 NDVI 处于波峰然后有明显下降,分别是 2003 年,2008 年和 2012 年,可以看出各种土地类型植被的生长趋势都与各年份的环境因子有关,才会在同一时间段有增长和下降的趋势。三种土地利用类型中,均在 2009 年 NDVI 值最低,而在 2008 年中国大陆全国范围内发生冰灾,显而易见这种极端气候对三种土地利用类型的影响非常明显。由于国家政策的支持,如六大林业重点工程、对荒漠地区的开发与利用、以及城市绿化、植树造林等,使得我国各种土地类型的植被覆盖指数明显呈现出了增长的趋势,其中林地的增长趋势最为稳定,说明退耕还林、对天然林地的保护等政策对林地植被覆盖植树的改善非常明显,而草地的退牧还草及荒漠地草原化等也取得了不小的成就。

2.2 三种土地利用类型再分类分析

耕地分为水田和旱地;林地分为有林地,灌木林,疏林地和其他林地;草地分为高覆盖草地,中覆盖草地和低覆盖草地。从图 2 和表 1 中可以看出,水田有四个波峰分别是 2002 年、2005 年、2007 年和 2010 年,相应波谷在 2003 年、2006 年、2009 年和 2013 年,总趋势线有增长的趋势,相关系数为 0.3114,说明水田 NDVI 变化与时间关系性不大,可能与人为因素和气候因素影响较多;旱地有三个波峰在 2005 年、2008 年和 2012 年,而波谷在 2006 年和 2009 年,相关系数为 0.7632,增长的趋势较明显;有林地的相关系数为 0.7457,增长趋势较显著,有三个波峰在 2002 年、2005 年和 2010 年和两个明显波谷在 2006 年和 2009 年;灌木林,疏林地和其他林地的相关系数分别为 0.8278 和 0.8268,增长趋势显著,而且灌木林和疏林地峰值分布相同(波峰在 2002 年、2007 年和 2010 年;波谷在 2003 年、2006 年和 2009 年),趋势线相似分别为 0.0022、0.0023 和 0.0022;高覆盖草地有三个波峰在 2003 年、2008 年和 2012 年,两个波谷在 2007 年和 2009 年,相关系数为 0.3836,增长趋势显著性较低,总趋势有增长的趋势;中覆盖草地和低覆盖草地的趋势 k 值相近分别为 0.0028 和 0.0027,相关系数分别为 0.7115 和 0.7109,增长趋势较明显,两种草地的波峰分布相同在 2003 年、2008 年、2010 年和 2012 年,两种草地的波谷分布相同在 2006 年、2009 年和 2011 年。可以看出各种植被类型在 2009 年均呈现波谷阶

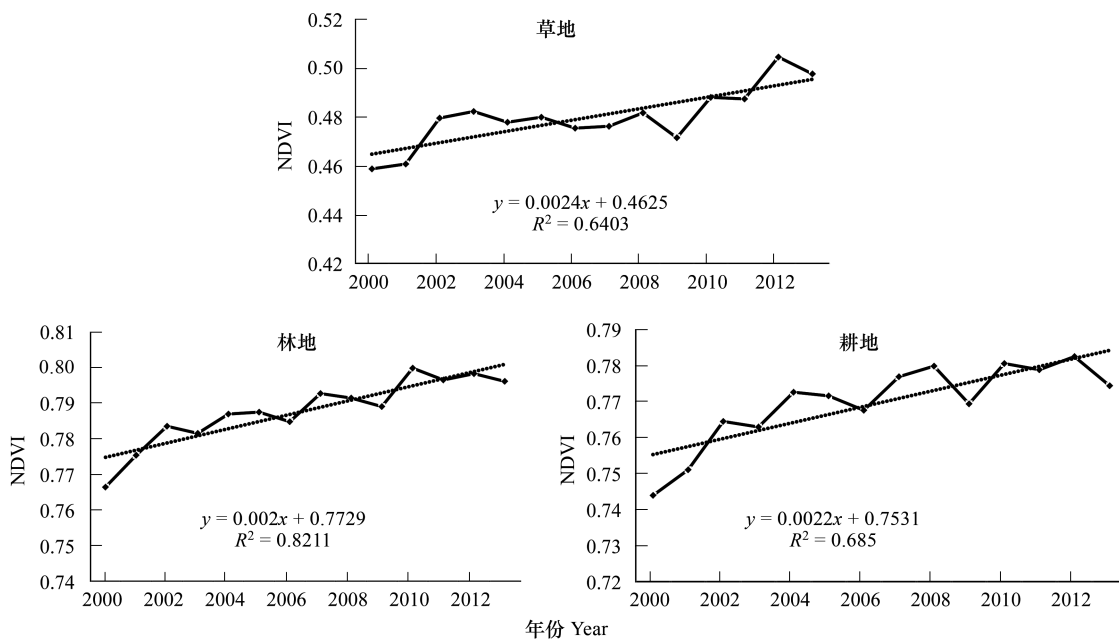


图 1 三种主要土地类型 14 年年均 NDVI 趋势变化

Fig.1 Three main types of land for 14 years with an average annual NDVI trends

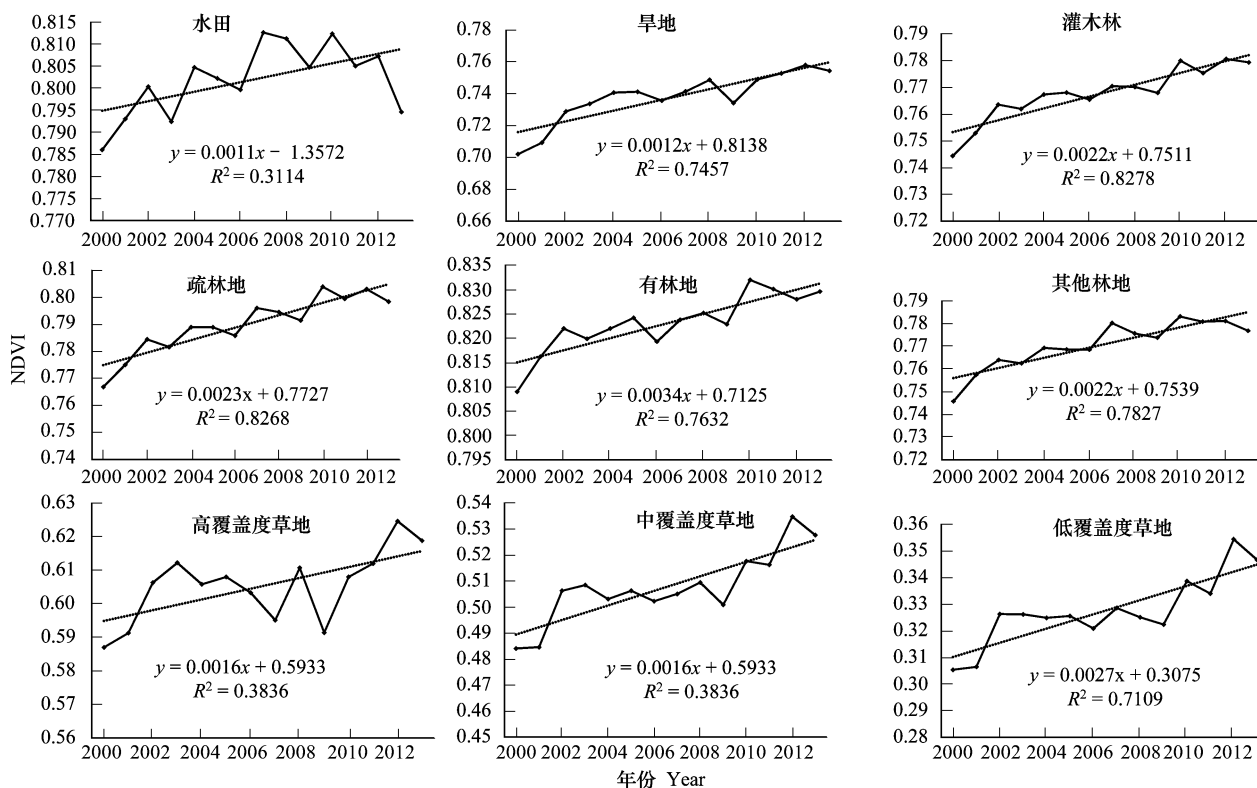


图 2 3 种主要土地类型再分类分析 14 年年均 NDVI 趋势变化特征

Fig.2 Three main types of land re-classification analysis of 14 years average annual of NDVI trend

段,除高覆盖草地在 2007 年出现波谷外均在 2006 年呈现波谷阶段。由三种土地类型再分类分析可以看出,近 14 年来由于国家对环境保护的重视,退耕还林、退牧还林以及对荒漠地的开发与利用使得各土地类型植被

覆盖指数均有增长的趋势,而林地的增加使得水田面积的减少,水田的增长趋势波动性最大,同时高覆盖草地的波动性最大是由于高覆盖草地对环境如降水、温度等的响应非常敏感。

表 1 3 种主要土地类型再分类分析 14 年年均 NDVI 值

Table 1 Analysis of 14 years annual average NDVI value for three main types of land re-classification

土地类型 Land type 分类类型 Category type	耕地 Farmland		林地 Woodland				草地 Grassland		
	水田 Paddy field	旱地 Dry land	有林地 Closed forest land	灌木林 Shrubbery	疏林地 Sparse woodland	其他林地 Other woodland	高覆盖草地 High coverage grassland	中覆盖草地 Medium coverage grassland	低覆盖草地 Low coverage grassland
2000	0.7860	0.7020	0.8090	0.7444	0.7669	0.7458	0.5870	0.4841	0.3054
2001	0.7930	0.7092	0.8162	0.7529	0.7751	0.7575	0.5913	0.4846	0.3065
2002	0.8003	0.7288	0.8220	0.7636	0.7845	0.7641	0.6063	0.5063	0.3263
2003	0.7924	0.7336	0.8199	0.7620	0.7817	0.7626	0.6122	0.5085	0.3262
2004	0.8047	0.7406	0.8220	0.7674	0.7890	0.7694	0.6058	0.5031	0.3249
2005	0.8022	0.7411	0.8242	0.7681	0.7890	0.7687	0.6080	0.5063	0.3256
2006	0.7996	0.7356	0.8193	0.7655	0.7859	0.7686	0.6033	0.5023	0.3209
2007	0.8126	0.7413	0.8238	0.7705	0.7961	0.7804	0.5951	0.5051	0.3286
2008	0.8112	0.7486	0.8252	0.7702	0.7946	0.7758	0.6107	0.5095	0.3251
2009	0.8047	0.7341	0.8229	0.7680	0.7915	0.7739	0.5914	0.5009	0.3224
2010	0.8123	0.7489	0.8320	0.7800	0.8040	0.7833	0.6080	0.5177	0.3387
2011	0.8050	0.7527	0.8301	0.7754	0.7996	0.7810	0.6120	0.5163	0.3340
2012	0.8072	0.7579	0.8280	0.7807	0.8031	0.7813	0.6246	0.5348	0.3544
2013	0.7946	0.7543	0.8296	0.7794	0.7985	0.7770	0.6188	0.5277	0.3467
总平均值 Total mean value	0.8018	0.7378	0.8232	0.7677	0.7900	0.7707	0.6053	0.5077	0.3276
标准差 Standard deviation	0.0081	0.0161	0.0060	0.0102	0.0106	0.0106	0.0108	0.0139	0.0132

2.3 三种土地利用类型 NDVI 时间序列空间变化特征分析

图中可以看出耕地,林地,草地近 14 年来的生长趋势均以改善为主。图 3 耕地中改善面积占总耕地的 64.21%,退化的区域占 18.50%,改善比较明显的区域位于甘肃以南、宁夏、陕西以北、东北三省以西和新疆少数地区,而退化比较明显的区域位于江苏、浙江、上海交汇地带的繁华区以及大部分省会城市附近。2000 年来,耕地改善区域主要位于西北地区,而东部繁华区以及人口聚集的城市中心区域,耕地植被覆盖指数明显减少,说明耕地由东北地区向西北地区移动,东部建设用地、生态用地对耕地的占用以及退耕还林等政策对耕地的影响非常明显;图 4 林地改善的区域占总林地的 54.21%,退化的区域占 20.13%,其中改善比较明显的区域主要在甘肃以东、陕西以北、山西、吉林和辽宁以北、南部部分地区,退化明显的区域位于黑龙江部分地区、内蒙古以东、湖南东部、四川中部、新疆以北、西藏以东、台湾中南部地区。东北大小兴安岭、长白山,西南地区以及东南沿海地区、四川盆地及东南丘陵植被覆盖指数的增强与退耕还林有关,而华北地区、黄土高原等地植被覆盖指数增强与草地林地转换有关,而林地减少区域主要集中在东北传统林区以及东部沿海的人口聚集区,这是由于人类对林地的砍伐以及建设用地等对林地的占用造成的,但总体以改善为主,说明退耕还林,建立天然林地保护区等政策对林地的保护起到了至关重要的作用;图 5 草地改善的区域占 55.53%,退化的区域占 18.23%,改善明显的区域主要位于甘肃东部、宁夏、陕西以北、山西以西、内蒙古以东部分地区,而退化的区域主要位于内蒙古东南部地区、新疆北部地区和西藏中部地区。草原区域主要集中在北部,由于国家退牧还草工程等措施,草地植被覆盖指数有明显的增强的趋势,而部分地区由于降水量的减少,加上其承载力比较脆弱,以及部分放牧的影响,草地植被覆盖指数有减少的情况。

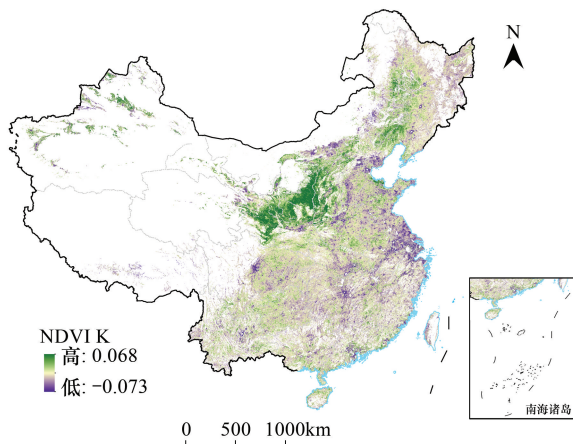


图3 耕地趋势变化率空间特征图

Fig.3 Spatial pattern trend change rate of cultivated land

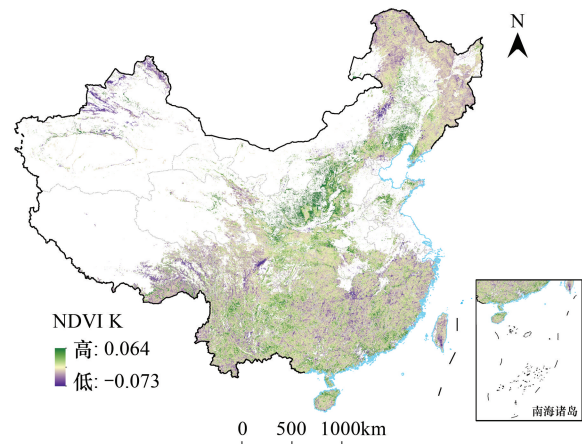


图4 林地趋势变化率空间特征图

Fig.4 Spatial pattern trend change rate of forest land

3 结论

1) 通过三种土地利用类型平均趋势图, 分析三种土地类型的趋势变化。三种土地类型植被指数在2000—2013年来均有增长的趋势, 其中草地增长趋势最大, 从显著性来看, 林地增长更为显著, 说明近14年来林地增长速率稳定, 而草地增长最快但波动性也比较明显。六大林业重点工程、对荒漠地区的开发与利用、以及城市绿化、植树造林等, 使得我国各种土地类型的植被覆盖指数明显呈现出了增长的趋势, 其中林地的增长趋势最为稳定, 说明退耕还林、对天然林地的保护等政策对林地植被覆盖植树的改善非常明显, 而草地的退牧还草及荒漠地草原化等也取得了不小的成就。

2) 通过三种土地类型再分类分析, 分析三种主要土地类型的再分类类型的变化特征。耕地中, 水田NDVI的趋势显著性最低, 增长趋势较低, 旱地NDVI显著且增长速率大; 林地中, 四种林地的NDVI趋势显著性较高, 增长稳定, 其中有林地NDVI增长速率最低; 草地中, 高覆盖草地NDVI趋势显著性最低, 说明波动性很大, 而增长速率也比较低, 中, 低覆盖草地NDVI显著并增长速率大。近14年来由于国家对环境保护的重视, 退耕还林、退牧还林以及对荒漠地的开发与利用使得各土地类型植被覆盖指数均有增长的趋势, 而林地的增加使得水田面积的减少, 水田的增长趋势波动性最大, 同时高覆盖草地的波动性最大是由于高覆盖草地对环境(如降水、温度等)的响应非常敏感。

3) 由三种土地利用类型植被覆盖空间图, 分析三种土地利用类型2000—2013年来空间变化特征。耕地改善区域主要位于西北地区, 而东部繁华区以及人口聚集的城市中心区域, 耕地植被覆盖指数明显减少; 林地减少区域主要集中在东北传统林区以及东部沿海的人口聚集区, 这是由于人类对林地的砍伐以及建设用地等对林地的占用造成的, 但总体以改善为主, 说明退耕还林, 建立天然林地保护区等政策对林地的保护起到了至关重要的作用; 由于国家退牧还草工程等政策的实施以及草原化荒漠建设, 使得草地植被覆盖指数有明显的增强的趋势。三种主要土地类型NDVI均以改善为主, 其中耕地植被覆盖指数改善区域最大占总耕地面积的64.21%; 三种土地类型均有所改善且改善明显的区域主要集中在甘肃以南, 陕西以北和东北部分地区。

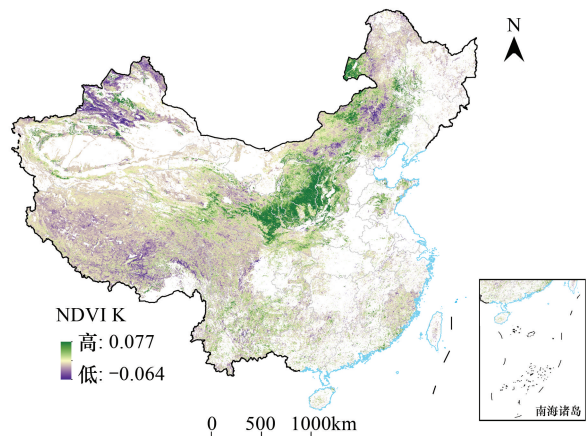


图5 草地趋势变化率空间特征图

Fig.5 Spatial pattern trend change rate of grassland

参考文献 (References):

- [1] 付波霖, 李颖, 朱红雷, 幸泽峰. 基于 RS 的湖岸带物理结构完整性评价方法——以查干湖为例. 生态学报, 2015, 35(23): 7634-7641.
- [2] 潘竞虎, 文岩. 中国西北干旱区植被碳汇估算及其时空格局. 生态学报, 2015, 35(23): 7718-7728.
- [3] 宋乃平, 杜灵通, 王磊. 盐池县 2000—2012 年植被变化及其驱动力. 生态学报, 2015, 35(22): 7377-7386.
- [4] 潘桂行, 乔晓英, 黄金廷, 雷磊. 2000—2014 年海流兔河流域植被覆盖度变化及其驱动因素分析. 安徽农业科学, 2015, 43(31): 264-267, 271-271.
- [5] 廖清飞, 张鑫, 马全, 姚瑶, 于东平. 青海省东部农业区植被覆盖时空演变遥感监测与分析. 生态学报, 2014, 34(20): 5936-5943.
- [6] 严恩萍, 林辉, 王广兴, 夏朝宗. 1990—2011 年三峡库区生态系统服务价值演变及驱动力. 生态学报, 2014, 34(20): 5962-5973.
- [7] 陈效述, 王恒. 1982—2003 年内蒙古植被带和植被覆盖度的时空变化. 地理学报, 2009, 64(1): 84-94.
- [8] 王军邦, 陶健, 李贵才, 庄大方. 内蒙古中部 MODIS 植被动态监测分析. 地球信息科学学报, 2010, 12(6): 835-842.
- [9] 王娟, 李宝林, 余万里. 近 30 年内蒙古自治区植被变化趋势及影响因素分析. 干旱区资源与环境, 2012, 26(2): 132-138.
- [10] 严恩萍, 林辉, 党永峰, 夏朝宗. 2000—2012 年京津风沙源治理区植被覆盖时空演变特征. 生态学报, 2014, 34(17): 5007-5020.
- [11] 王涛, 沈渭寿, 欧阳琰, 林乃峰. 1982—2010 年西藏草地生长季 NDVI 时空变化特征. 草地学报, 2014, 22(1): 46-51.
- [12] 刘志锋, 南颖, 胡浩, 董叶辉, 杨易, 周鹏, 吉喆. 2000—2008 年长白山地区植被覆盖变化特征. 西北植物学报, 2010, 30(2): 391-398.
- [13] 江田汉, 邓莲堂. Hurst 指数估计中存在的若干问题——以在气候变化研究中的应用为例. 地理科学, 2004, 24(2): 177-182.
- [14] 安佑志, 刘朝顺, 施润和, 高伟, 殷杰. 基于 MODIS 时序数据的长江三角洲地区植被覆盖时空变化分析. 生态环境学报, 2012, 21(12): 1923-1927.
- [15] 江东, 付晶荣, 黄耀欢, 庄大方. 地表环境参数时间序列重构的方法与应用分析. 地球信息科学学报, 2011, 13(4): 439-446.
- [16] 国志兴, 王宗明, 宋开山, 李方, 张柏, 刘殿伟. 1982—2003 年东北地区植被覆盖变化特征分析. 西北植物学报, 2008, 28(1): 155-163.
- [17] 刘军会, 高吉喜. 气候和土地利用变化对中国北方农牧交错带植被覆盖变化的影响. 应用生态学报, 2008, 19(9): 2016-2022.
- [18] 孙根年, 王美红. 内蒙古植被覆盖与土地退化关系及空间结构研究. 干旱区资源与环境, 2008, 22(2): 140-144.
- [19] Pettorelli N, Vik J O, Mysterud A, Gaillard J M, Tucker C J, Stenseth N C. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, 2005, 20(9): 503-510.
- [20] Tucker C J, Pinzon J E, Brown M E, Slayback D A, Pak E W, Mahoney R, Vermotea E F, El Saleous N. An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data. *International Journal of Remote Sensing*, 2005, 26(20): 4485-4498.
- [21] Fensholt R, Sandholt I, Rasmussen M S. Evaluation of MODIS LAI, fAPAR and the relation between fAPAR and NDVI in a semi-arid environment using in situ measurements. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 91(3/4): 490-507.
- [22] 朴世龙, 方精云. 最近 18 年来中国植被覆盖的动态变化. *第四纪研究*, 2001, 21(4): 294-302.
- [23] 杨胜天, 刘昌明, 孙睿. 近 20 年来黄河流域植被覆盖变化分析. *地理学报*, 2002, 57(6): 679-684.