

DOI: 10.13332/j.1000-1522.20180278

基于 SPOT-VGT 数据的湖南省植被变化及其对气候变化的响应

刘正才 屈瑶瑶

(湘潭大学土木工程与力学学院, 湖南 湘潭 411105)

摘要 【目的】本文旨在研究湖南省植被变化及其对气候变化的响应, 以期为湖南省生态保护提供科学指导依据。【方法】利用 2000—2015 年 SPOT-VGT NDVI、植被类型以及气象数据, 辅以最小二乘趋势分析和相关性分析, 探讨了湖南省植被生长变化特征并从年和月变化尺度分析了不同类型植被对气候变化的响应。【结果】(1) 近 16 年湖南省大部分地区植被 NDVI 呈增加趋势, 但空间分布差异较大, NDVI 高值区在湘西北和湘西南, 而湘中及湘北植被覆盖较差; (2) 2000—2015 年湖南省植被 NDVI 增幅为 0.004 5/a, 灌丛 NDVI 增加趋势最大, 达 0.005 1/a, 而沼泽最小, 仅为 0.002 6/a; (3) 湖南省植被 NDVI 与气温、降水正负相关共存, 与气温的相关性较好。从不同类型植被来看, 各类型植被 NDVI 与气温呈正相关的面积占绝大部分, 灌丛和针叶林 NDVI 与降水呈正相关的面积较大, 而草丛、草甸和沼泽 NDVI 与降水呈负相关的面积较大, 阔叶林和栽培植被与降水呈正负相关的面积约各占一半; (4) 时滞性分析表明, 植被对降水的响应存在 2 个月滞后, 且 7 月 NDVI 与 6 月降水、9 月 NDVI 与同期降水的相关性显著, 但逐月 NDVI 与前 0~3 个月气温的相关性均不显著。【结论】近 16 年湖南省植被覆盖呈增加态势, 但空间分布差异较大; 不同类型植被对气候要素变化响应也各异。

关键词: 湖南省; NDVI; 气候变化; 相关性; 时滞性

中图分类号: P237; S718.51⁺2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1522(2019)02-0080-08

引文格式: 刘正才, 屈瑶瑶. 基于 SPOT-VGT 数据的湖南省植被变化及其对气候变化的响应[J]. 北京林业大学学报 2019, 41(2): 80-87. Liu Zhengcai, Qu Yaoyao. Vegetation change and its response to climate change based on SPOT-VGT in Hunan Province of southern China[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2019, 41(2): 80-87.

Vegetation change and its response to climate change based on SPOT-VGT in Hunan Province of southern China

Liu Zhengcai Qu Yaoyao

(School of Civil Engineering and Mechanics, Xiangtan University, Xiangtan 411105, Hunan, China)

Abstract [Objective] In this paper, the vegetation change and its response to climate change in Hunan Province of southern China was studied in order to provide a scientific guidance for ecological protection in Hunan Province. [Method] Based on the SPOT-VGT NDVI, vegetation types and meteorological data from 2000 to 2015, combined with the least squares trend analysis and correlation analysis, this paper discusses the characteristics of vegetation growth change in Hunan Province and analyzes the response of different vegetations to climate change from different time scales respectively. [Result] The results showed that: (1) in recent 16 years, vegetation NDVI in most areas of Hunan Province showed an increasing trend, but the spatial distribution was quite different. The large value of NDVI was found in the northwest and southwest of Hunan Province, while the vegetation cover in the middle and north of Hunan Province was poor. (2) From 2000 to 2015, the growth rate of NDVI in Hunan Province reached 0.004 5/year and the brush reached 0.005 1/year, while swamp showed the smallest increase trend,

收稿日期: 2018-08-25 修回日期: 2018-12-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(61640210), 湖南省自然科学基金项目(14JJ7039)。

第一作者: 刘正才, 博士, 教授。主要研究方向: 测量与遥感。Email: liuzhengcai@163.com 地址: 411105 湖南省湘潭市湘潭大学土木工程与力学学院。

本刊网址: <http://j.bjfu.edu.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

only 0.002 6/ year. (3) The positive and negative correlations between NDVI and temperature and precipitation is coexisting, and the correlation between NDVI and temperature was better. According to different types of vegetation, the area of positive correlation between NDVI and temperature was the most, the area of positive correlation between NDVI and precipitation was larger in shrub and coniferous forest, while the area of grass, meadow and swamp NDVI was negative correlated with precipitation. The area with positive or negative correlation between broadleaved forest and cultivated vegetation and precipitation was about half of each area. (4) The time lag analysis showed that the vegetation response to rainfall had two-month lag, and the correlation between July NDVI and June rainfall, September NDVI and the rainfall in the same period was significant, but the correlation between monthly NDVI and the temperature in the first 0–3 months was not significant. [Conclusion] In recent 16 years, the vegetation cover in Hunan Province has been increasing, but the spatial distribution is quite different and different vegetations have different degrees of responses to climate change.

Key words: Hunan Province; NDVI; climate change; correlation; time lag

近年来,伴随全球气候变化加剧,气候变化对陆地生态系统的影响及其反馈是目前研究的热点问题^[1]。植被作为生态系统的重要组成部分,通过能量传输和物质转变联系土壤、大气和水分,能够在一定程度上对全球变化起到指示作用^[2]。归一化植被指数(Normalized difference vegetation index, NDVI)是表征植被群落生长状况和植被生长质量的重要指标,是公认的可以定量表征植被生长状态的有效指标^[3]。目前,国内外学者以NDVI为表征,对植被变化特征及其对气候变化的响应已经做了大量的研究^[4–5]。

气候变化是影响植被生长的重要因素,且已经导致全球局部地区植被覆盖发生了显著变化^[6]。在我国,由于气候变化的影响,在中高纬度地区特别是青藏高原、华北等地的植被活动显著增强^[7]。在气候要素中,气温和降水被认为是影响植被生长、分布最重要的因子^[8–9]。然而,由于植被与气象因子作用关系的复杂性,不同类型植被对气候变化的响应程度各异^[10],加之区域气候的不稳定性,使得在植被覆盖与气象因子相互作用的研究中产生了不一致的结论^[11–12]。湖南省地处长江经济带腹地,大部分地区属于中亚热带湿润季风气候,湘南和湘北分别兼有南亚热带季风气候和北亚热带季风气候过渡的特征,水热条件不均衡,是长江流域生态平衡失调地区之一。由于地形、气候、土壤及人类活动等各种因素的影响,区域内呈现出环境敏感性和承灾脆弱性特征,这一区域植被生态系统的变化对中国生态环境具有重要影响。因此,研究该区域植被NDVI变化特征及其对气候变化的响应对于区域生态环境建设以及长江中游水土保持具有重要的意义。

目前国内关于植被NDVI变化及其对气候变化的响应研究大多集中在青藏高原、东北和华北等对

气候变化较敏感的中高纬度地区^[13],而对中部地区尤其是湖南的研究甚少。目前对湖南省植被NDVI变化的研究多集中在某一种植物或某一个子区域上,较少与气象因子进行相关分析^[14–15],且研究时段更新不及时,对湖南省植被变化缺乏整体上的最新认识。鉴于此,本文选用2000–2015年遥感及气象数据,辅以最小二乘趋势分析和相关性分析法,基于年和月尺度分析了近16年湖南省植被变化特征及其对气候变化的响应,以期了解该地区的生态环境演变规律,对促进生态保护具有科学意义。

1 研究区概况

湖南省位于中国中南部,地处长江经济带腹地,地理位置在 $108^{\circ}47' \sim 114^{\circ}05'E$ 、 $24^{\circ}08' \sim 30^{\circ}08'N$ 之间。其面积为21.18万 km^2 ,丘陵、岗地和山地面积占80.6%。研究区东、南、西三面环山,北部为洞庭湖平原,中部为丘陵和盆地,地貌类似于朝北开口的马蹄形。气候类型属于亚热带季风气候,水热条件差异较大,年平均气温约为 17.5°C ,年总辐射量达 $418.6\text{ kJ}/\text{cm}^2$,日照 $1\,800 \sim 2\,200\text{ h}$,无霜期 $240 \sim 310\text{ d}$,降水丰沛,年总降水量 $1\,200 \sim 1\,700\text{ mm}$,但降水分配不均,降水量多集中在雨季(4–6月),并且常出现暴雨等极端强降水^[16–17]。由于研究区处于我国东西与南北方向的地形转折和过渡带上,其植被具有南北过渡特征,既有多种南方类别的常绿阔叶树,也有大量北方类别的落叶阔叶树,是中国植被资源较丰富的省份之一^[18]。

2 数据与方法

2.1 数据来源与预处理

本研究使用的NDVI数据源自中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/>)的“中

国长时间序列植被指数(NDVI)空间分布数据集”。该NDVI数据集是基于连续时间序列的SPOT/VEGETATION NDVI卫星遥感数据,采用最大值合成法生成了1998年以来的年、季和月度植被指数数据集,空间分辨率为1 km,本文通过裁剪等预处理,获得了2000—2015年的NDVI数据。

气象站点数据源自中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)。选用2000—2015年湖南省34个气象站点的月平均气温、降水和3个站点的太阳辐射数据进行年际变化分析和逐月相关性、时滞性分析,并选用基于全国2400多个气象站点观测数据进行空间插值生成的中国1980年以来逐年年平均气温、年降水量空间插值数据集与植被NDVI进行相关性分析,该电子文件由中国科学院资源环境科学数据中心提供,通过裁剪等预处理得到研究时段内湖南省数据。

为了分析不同类型植被动态变化及其对气候变化的响应,根据中国科学院植被图编辑委员会2001年编制的1:100万中国植被图集^[19],研究区的植被类型主要分为针叶林、栽培植被、阔叶林、灌丛、草丛、草甸和沼泽7类。同时为研究湖南省不同地区的气候对植被覆盖的影响,根据《中国气象地理区划手册》将湖南省划分为湘西北、湘西南、湘南、湘中和湘北5个区域(图1)^[20]。

2.2 研究方法

一元线性回归分析可以在单个像元的基础上,分析每个像元的变化趋势,从而度量给定时间内植被覆盖动态变化的空间特征。本文采用最小二乘法来分析2000—2015年研究区内植被NDVI的空间变化趋势。

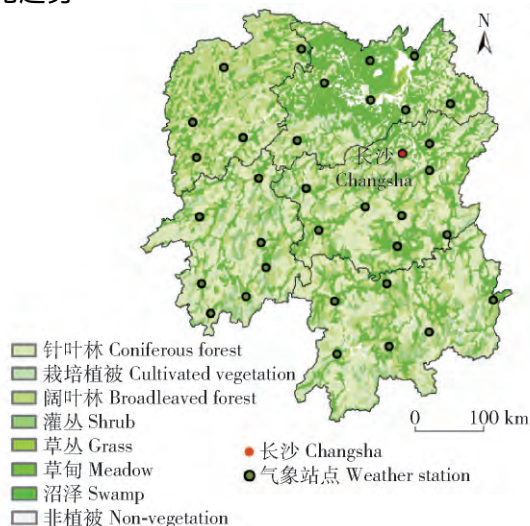


图1 湖南省植被类型及气象地理区划

Fig. 1 Distribution of vegetation types and meteorological geographic regionalization in Hunan Province

相关分析可度量要素间的相互关系,研究两个要素间的相关程度通常用相关系数来表示,本文采用Pearson相关分析法计算植被NDVI与相应气象因子之间的相关系数并进行显著性检验。本研究基于年尺度计算植被NDVI与气温和降水的相关系数,包括16年样本数据。此外,为了研究植被对气象因子的滞后效应,分别计算植被NDVI与前1个月、前2个月和前3个月气温、降水的相关系数。

3 结果与分析

3.1 植被NDVI的空间格局

根据2000—2015年湖南省植被NDVI数据,得到湖南省全区及不同气候区的NDVI分布情况(图2)。从图2能看出湖南省NDVI空间分布具有明显的经纬度差异特征,呈现出西高东低、南高北低的分布特征,且植被分布的经度较纬度向地带性的差异更为明显,即越靠近西北方向植被覆盖越好,而越靠近东北方向植被覆盖越差。在纬度方向上,由于太阳辐射造成的湖南省南部和北部热量差异,且植物对冬季低温极为敏感,从而导致南北植被分布地带性有显著的差异;在经度方向上,湖南省西部气候较温和,降水分配较均匀,利于植被生长,而东部地区温度变幅较大,降水分配不均,且夏秋之际常伴有干旱,植被覆盖也相对较差。

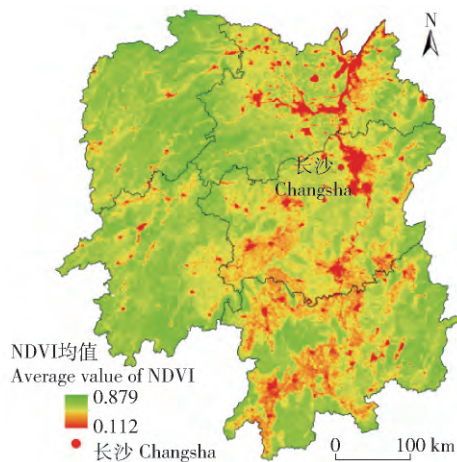


图2 2000—2015年湖南省植被NDVI均值分布

Fig. 2 Average distribution of vegetation NDVI in Hunan Province from 2000 to 2015

从整个区域来看,2000—2015年湖南省NDVI值在0.11~0.88之间变化,平均值为0.76。从各分区来看,湘西北和湘西南地区植被覆盖较好,湘南地区次之,而湘中和湘北地区植被覆盖较差。湘西北、湘西南多为中、低山,气候温凉湿润,降水多而均匀,夏旱少而细微,有利于林木生长,是中国植被富集区之一。湘南为山丘盆地,且东、南、西三面被山

地环绕,北以阳明山、塔山为背景,中部为丘陵盆地,水热充沛,冬不严寒,对植被生长较为有利。湘中、东、南、西三面环山,北部和中部地势低平,由于地形原因,暴雨和干旱经常发生,因此植被 NDVI 受到影响。湘北滨湖平原地势低平、河湖遍布,植被以农作物为主,是省内 NDVI 的低值区,且湖泊和洞庭湖平原植被要比岗地和环湖植被的 NDVI 值低^[21]。

3.2 植被 NDVI 的年际变化

湖南省植被 NDVI 年际变化如图 3 所示,统计显示 2000—2015 年湖南省植被 NDVI 年际变化明显,近 16 年来湖南省植被 NDVI 总体呈增长趋势,年际波动较大,其变化倾向率为 0.004 5/a,表明湖南省的植被生长状况总体呈好转趋势。根据该年际变化曲线,湖南省 NDVI 均值在 2000—2015 年的变化可分为 3 个阶段:2000—2004 年为快速上升阶段,上升速率达 0.015 9/a;2005—2011 年在波动中

保持平衡;2012—2015 年再次显著上升,上升速率为 0.010 2/a。综合考虑湖南省植被 NDVI 值及其气候要素(年均气温、降水和太阳辐射)的变化(图 4),以便进一步分析 NDVI 的年际变化特征。由图 4 可知,2004 年气候条件较稳定,该年气温、降水和太阳辐射的距平百分率均较小,NDVI 达到第一时间段的最大值。2007、2008 和 2009 年总降水量和太阳辐射均为负距平,年均气温为正距平,受 2008 年雪灾影响,使得 NDVI 值较相邻年份偏低,表明极端气候不利于植被生长。2012 年的总降水量和太阳辐射均为正距平,虽然年均气温为负距平,但水分充沛、日照充足使得 NDVI 值开始大幅提升。

不同植被类型 NDVI 年际变化也不尽相同,由图 3 可知,不同植被覆盖类型 16 年中 NDVI 值均表现为上升趋势,灌丛 NDVI 增加趋势最为明显,达 0.005 1/a,阔叶林次之,为 0.004 9/a,沼泽的增加趋

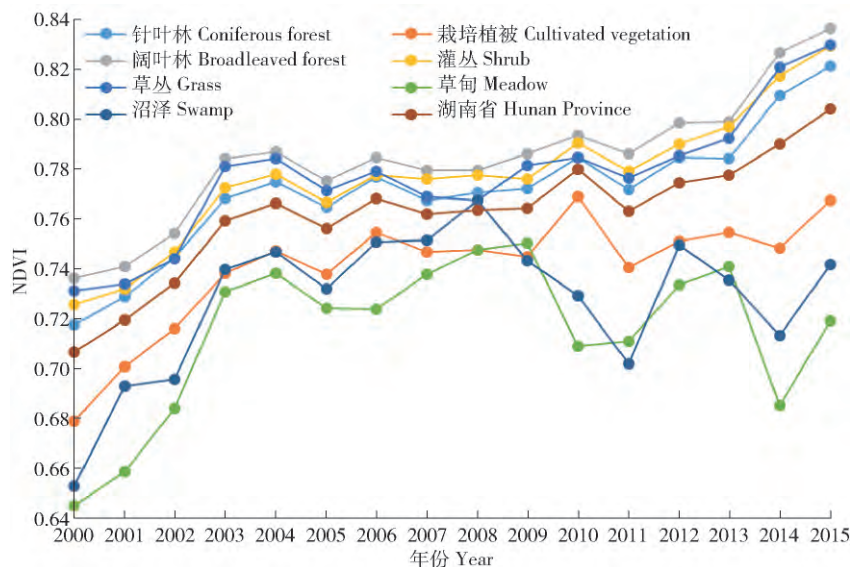


图 3 2000—2015 年湖南省年均 NDVI 年际变化和不同类型植被 NDVI 变化

Fig. 3 NDVI variations of annual mean and different vegetations in Hunan Province from 2000 to 2015

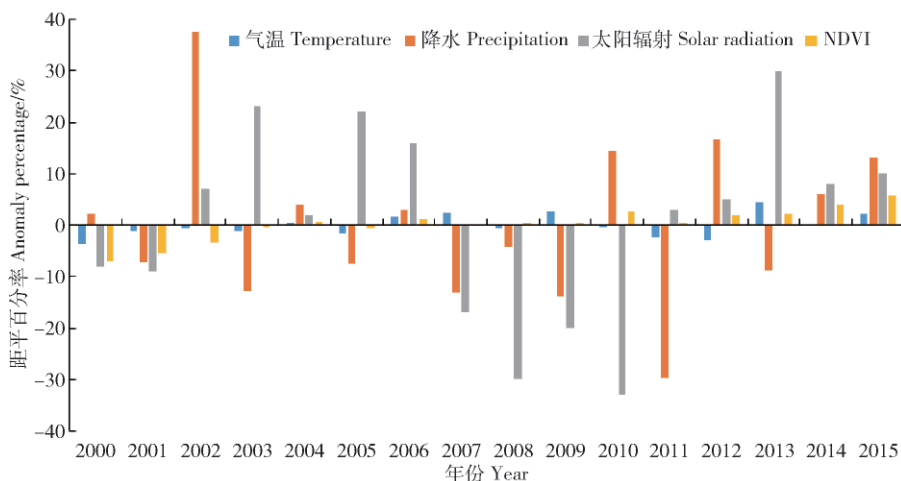


图 4 2000—2015 年湖南省气象因子及 NDVI 年际变化

Fig. 4 Annual variations of meteorological factors and NDVI in Hunan Province from 2000 to 2015

势最小,仅为 0.002 6/a。但年际波动程度不同,草甸和沼泽年际间波动剧烈,其中草甸在 2006、2010 和 2014 年的变化趋势,沼泽在 2009—2010 年,2013—2014 年的变化趋势与湖南省整体趋势相反。针叶林、栽培植被、阔叶林、灌丛和草丛的波动程度较小且与湖南省整体的 NDVI 均值波动趋势保持高度一致。

3.3 植被 NDVI 的变化趋势

基于像元尺度,本文计算了 2000—2015 年湖南省植被 NDVI 的变化趋势,其空间分布格局如图 5 所示。在研究时段内,湖南省植被 NDVI 均值增加和减少的区域交替分布,大部分地区植被 NDVI 呈增加趋势,NDVI 呈增加趋势的面积约为减少趋势面积的 9 倍,表明湖南省植被整体向较好方向发展。其中 NDVI 显著增加的区域主要分布在湘西北、湘西南,而呈减少趋势的 NDVI 区域主要分布在湘北和湘中,其中湘中的长株潭核心区减少趋势尤为显著,主要原因在于长株潭一体化进程的快速推进。湘西北 NDVI 均值较大且其增加幅度也较大,湘北 NDVI 均值较小但其增加和减少的变化幅度均较大,这主要是由于植被类型和气候条件的不同而导致的。总体来说,近 16 年湖南省植被 NDVI 变化趋势为西部强于东部、北部强于南部。

尽管湖南省植被 NDVI 整体呈上升趋势,但不同类型植被的 NDVI 变化存在明显的空间差异。由图 6 可知,所有类型植被 NDVI 呈现增加趋势的面积均远大于呈减少趋势的面积,其中阔叶林植被 NDVI 值呈增加趋势的面积占该类型的百分比最大,为 94.92%,其次是灌丛和草丛,约占 93%,沼泽和草甸最小,在 72%~74% 之间。

3.4 植被 NDVI 与主要气象因子的关系

3.4.1 植被 NDVI 与气象因子的相关性分析

为了解湖南省植被 NDVI 与主要气象因子的相

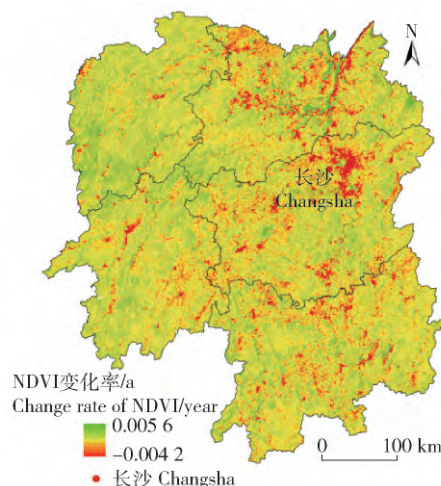


图 5 2000—2015 年湖南省植被 NDVI 变化趋势

Fig. 5 NDVI variation trend in Hunan Province from 2000 to 2015

关性,本文计算了植被 NDVI 与年均气温、降水的相关系数,并根据显著性水平阈值划分等级(图 7),同时逐像元分类统计(表 1)。由图 7 可知,植被 NDVI 与气温、降水的正负相关共存,NDVI 与气温的相关性较好,显著性水平也较高,表明气温是影响植被生长的主要因素,这与邓伟等人^[22]的研究结果:长江中下游流域植被覆盖的主要气候影响因子是气温,春季气温与植被覆盖相关性最高为显著基本一致。该区绝大部分地区 NDVI 与温度呈正相关(图 7a),占总植被面积 89.17%,其中呈显著($P < 0.01$)和中度($P < 0.05$)正相关的区域主要位于湘南、湘北和湘中大部分地区,但湘中的长株潭核心区植被 NDVI 与气温的负相关尤为显著。这可能是由于全球气候变化及长株潭城市群活动影响的共同结果,这也与长株潭核心区植被 NDVI 均值较低且减少趋势较明显表现一致。研究区植被 NDVI 与降水呈正负相关的区域面积约各占一半(图 7b),其中呈显著负相关的区域主要位于湘南、湘北洞庭湖平原地区以及湘西南的南部地区,可能原因是湘南地区受地形及季

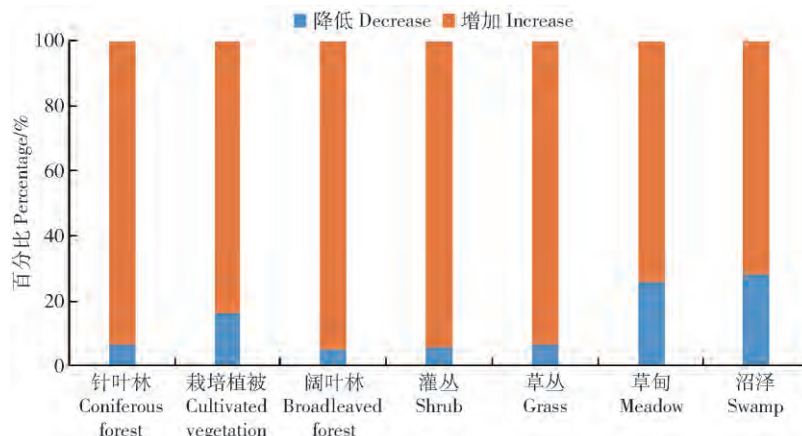


图 6 湖南省不同类型植被 NDVI 增加和降低面积所占比例

Fig. 6 Proportion of NDVI increase and decrease of different vegetations in Hunan Province

风的影响降水较多,湘北洞庭湖平原河湖密布,湘西南的南部地区降水多而均匀,这些地区降水能够满足植被生长需求,若降水继续增多将会使植被光合作用减弱,从而使植被 NDVI 降低。而湘中的衡邵盆地、湘西南和湘西北大部分地区为背风坡,降水较少,降水增加对植被生长起促进作用,因此这些区域降水与植被 NDVI 多呈正相关。

湖南省针叶林、栽培植被、阔叶林、灌丛、草丛、草甸和沼泽分别占植被总面积的 35.67%、28.73%、7.83%、21.05%、6.38%、0.29%、0.05%。通过对湖南省不同类型植被 NDVI 与气象因子的相关显著性进行统计(表 1),结果表明:各类型植被 NDVI 与气温呈正相关的面积均远远大于呈负相关的面积,约占相应类型植被面积的 86%~91%。其

中弱正相关与中度正相关约各占 40%,表明气温是影响湖南省各类型植被生长的主要因素。各类型植被 NDVI 与降水的相关性较复杂,从不同类型植被来看,草丛、草甸和沼泽 NDVI 与年降水呈负相关的面积较大,分别为 59%、69%和 67%,灌丛和针叶林 NDVI 与年降水呈正相关的面积较大,各占 60%和 57%,阔叶林和栽培植被与降水呈正负相关的面积约各占一半。

3.4.2 逐月相关性与时滞性分析

植被的生长状况不仅受当时气温和降水量影响,还对气象因子的响应存在一定的滞后性,因此本文对湖南省生长季(4—10 月)内逐月 NDVI 与同期及前 1~3 个月的气象因子响应进行了分析,见表 2。结果表明,在气温影响方面,逐月 NDVI 与前 0~3

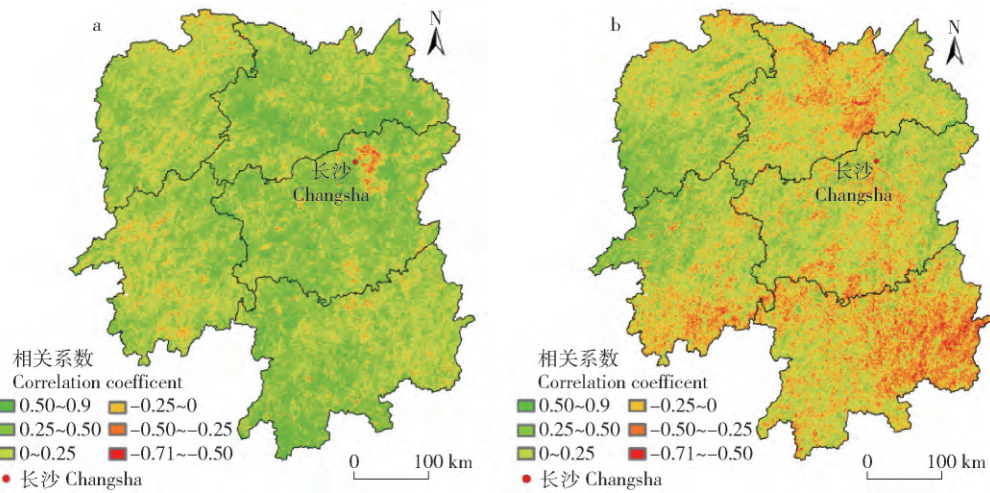


图 7 2000—2015 年湖南省植被 NDVI 与气温(a)、降水(b)的相关系数空间分布

Fig. 7 Correlations between NDVI and temperature(a), precipitation(b) in Hunan Province from 2000 to 2015

表 1 不同类型植被 NDVI 与气温、降水相关系数所占比例

Tab. 1 Proportion of NDVI and temperature , precipitation in different vegetation types

									%
项目 Item		针叶林 Coniferous forest	栽培植被 Cultivated vegetation	阔叶林 Broadleaved forest	灌丛 Shrub	草丛 Grass	草甸 Meadow	沼泽 Swamp	湖南省 Hunan Province
气温 Temperature	显著负相关 Significantly negative correlation	0.03	0.04	0.01	0.01	0.01	0	0	0.02
	中度负相关 Moderate negative correlation	0.75	1.18	0.95	0.67	0.95	1.01	0	0.93
	弱负相关 Weak negative correlation	9.02	10.30	12.51	10.36	10.89	10.08	9.00	9.87
	弱正相关 Weak positive correlation	39.11	36.69	40.69	44.34	42.25	42.69	51.00	40.16
	中度正相关 Moderate positive correlation	43.86	43.29	38.55	39.51	40.00	40.84	40.00	42.01
降水 Precipitation	显著正相关 Significantly positive correlation	7.23	8.50	7.29	5.12	5.90	5.38	0	7.00
	显著负相关 Significantly negative correlation	0.76	0.78	0.98	0.61	1.80	2.18	2.00	0.87
	中度负相关 Moderate negative correlation	9.00	11.74	11.14	8.90	17.87	23.70	16.00	10.87
	弱负相关 Weak negative correlation	33.10	37.17	35.08	30.57	39.46	43.36	49.00	34.15
	弱正相关 Weak positive correlation	40.65	35.47	39.40	40.90	31.11	26.22	29.00	38.38
	中度正相关 Moderate positive correlation	15.27	13.76	12.59	17.49	8.83	4.54	4.00	14.63
	显著正相关 Significantly positive correlation	1.23	1.08	0.81	1.53	0.93	0	0	1.10

表2 湖南省植被逐月 NDVI 与气象因子的相关性

Tab. 2 Correlations between monthly NDVI and meteorological factors in Hunan Province

项目 Item		4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
		Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
气温 Temperature	同期 Same period	0.436	0.120	0.412	-0.078	0.393	-0.215	0.183
	前 1 月 Previous one month	-0.026	-0.124	0.272	0.194	-0.262	0.126	0.027
	前 2 月 Previous two months	0.282	0.176	0.309	0.109	-0.100	-0.059	-0.001
	前 3 月 Previous three months	-0.013	0.380	0.321	0.480	0.017	0.010	-0.291
降水 Precipitation	同期 Same period	-0.295	-0.278	-0.328	0.151	-0.135	0.510*	0.122
	前 1 月 Previous one month	0.070	0.011	0.016	-0.522*	0.170	0.237	0.486
	前 2 月 Previous two months	0.111	0.022	0.216	0.440	0.248	0.270	0.023
	前 3 月 Previous three months	-0.307	-0.367	0.077	-0.261	0.066	-0.251	0.053

注: * 表示 $P < 0.05$ 相关性显著。Note: * means $P < 0.05$ indicating significant correlation.

个月气温的相关性均不显著。4、8 月 NDVI 受同期气温影响较大且均表现为正相关,表明 4 和 8 月气温适宜,有利于植被生长。5、7 月 NDVI 则受前 3 个月气温的影响较大,表明 2 和 4 月的气温对后续植被的生长有不可忽略的影响。6 月 NDVI 与前 0~3 个月气温均呈正相关,表明 4—6 月气温对 6 月植被生长均有不同程度的促进作用。9、10 月 NDVI 与气温的相关性相对来说均较小,且分别与同期、前 3 个月气温呈负相关,表明 9 月气温降低和 7 月气温上升会阻碍植被的生长。在降水影响方面,植被对降水的响应存在 2 个月滞后现象,但除 7 月 NDVI 与 6 月降水、9 月 NDVI 与同期降水的相关性较为显著 ($P < 0.05$) 外,其余月份 NDVI 与降水关系均不显著。7 月 NDVI 与 6 月降水呈显著负相关,这可能由于 6 月易发生的大雨、暴雨等极端天气会阻碍植被的生长,此外 4—10 月 NDVI 与前 1~2 个月降水均表现为正相关。9 月 NDVI 与同期降水呈显著正相关,表明随着季节的变化,适宜的气温和降水使得植被生长旺盛。

4 结 论

本文利用 SPOT-VGT NDVI 数据分析了 2000—2015 年湖南省整体及不同类型植被动态变化,并结合相应的气温和降水数据从年、季和月变化角度分析了其对气候变化的响应。

(1) 湖南省植被 NDVI 表现出明显的空间异质性。空间分布具有明显的经纬度差异特征,总体上呈现西高东低、南高北低的分布特征。

(2) 从年际尺度看,2000—2015 年湖南省植被 NDVI 总体呈增长趋势,年际波动较大,其变化倾向率为 0.004 5/a,2000—2004 年为快速上升阶段,2005—2011 年在波动中保持平衡,2012—2015 年再次显著上升,说明湖南省的植被生长状况总体呈好

转趋势。不同类型植被 NDVI 值均表现为上升趋势,灌丛 NDVI 增加趋势最为明显,达 0.005 1/a,阔叶林次之,沼泽的增加趋势最小。

(3) 2000—2015 年湖南省大部分地区植被 NDVI 呈增加趋势,其中显著增加的 NDVI 区域主要分布在湘西北、湘西南,呈减少趋势的 NDVI 区域主要分布在湘北和湘中。总体来说,近 16 年湖南省植被 NDVI 变化趋势为西部强于东部、北部强于南部。

(4) 湖南省植被 NDVI 与气温、降水正负相关共存,与气温的相关性较好。从不同类型植被来看,各类型植被 NDVI 均与气温的正相关性较好,灌丛和针叶林 NDVI 与降水呈正相关的面积较大,而草丛、草甸和沼泽 NDVI 与降水呈负相关的面积较大,阔叶林和栽培植被与降水呈正负相关的面积约各占一半。

(5) 从月尺度上看,逐月 NDVI 与前 0~3 个月气温的相关性均不显著,植被对降水的响应存在 2 个月滞后现象,但除 7 月 NDVI 与 6 月降水、9 月 NDVI 与同期降水的相关性显著外,其余月份 NDVI 与降水关系均不显著。

参 考 文 献

- [1] 李晓兵,陈云浩,张云霞,等. 气候变化对中国北方荒漠草原植被的影响[J]. 地球科学进展, 2002, 17(2): 254—261.
Li X B, Chen Y H, Zhang Y X, et al. Impact of climate changes on desert steppe in northern China[J]. Advances in Earth Science, 2002, 17(2): 254—261.
- [2] 张琪,袁秀亮,陈曦,等. 1982—2012 年中亚植被变化及其对气候变化的响应[J]. 植物生态学报, 2016, 40(1): 13—23.
Zhang Q, Yuan X L, Chen X, et al. Vegetation change and its response to climate change in Central Asia from 1982 to 2012[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2016, 40(1): 13—23.
- [3] Ding M, Zhang Y, Liu L, et al. The relationship between NDVI and precipitation on the Tibetan Plateau[J]. Journal of Geographical Sciences, 2007, 17(3): 259—268.

- [4] Ahmad F. Phenologically-tuned MODIS NDVI-based time series (2000–2012) for monitoring of vegetation and climate change in North-Eastern Punjab, Pakistan [J]. Global Journal Inc, 2012, 12 (13): 37–51.
- [5] Pravalie R, Sirodoev I, Peptenatu D. Detecting climate change effects on forest ecosystems in Southwestern Romania using Landsat TM NDVI data [J]. Journal of Geographical Sciences, 2014, 24 (5): 815–832.
- [6] Eastman J R, Sangermano F, Machado E A, et al. Global trends in seasonality of normalized difference vegetation index (NDVI), 1982–2011 [J]. Remote Sensing, 2013, 5 (10): 4799–4818.
- [7] Pang G, Wang X, Yang M. Using the NDVI to identify variations in and responses of vegetation to climate change on the Tibetan Plateau from 1982 to 2012 [J]. Quaternary International, 2016, 444: 87–96.
- [8] 范广洲, 贾志军. 植物物候研究进展 [J]. 干旱气象, 2010, 28 (3): 250–255.
Fan G Z, Jia Z J. Study advances on plant phenology [J]. Journal of Arid Meteorology, 2010, 28 (3): 250–255.
- [9] 刘世梁, 赵海迪, 董世魁, 等. 基于 SPOT NDVI 的阿尔金山自然保护区植被动态变化研究 [J]. 干旱区研究, 2014, 31 (5): 832–837.
Liu S L, Zhao H D, Dong S K, et al. Dynamic of vegetation in the altun mountain nature reserve based on spot NDVI [J]. Arid Zone Research, 2014, 31 (5): 832–837.
- [10] 严建武, 陈报章, 房世峰, 等. 植被指数对旱灾的响应研究: 以中国西南地区 2009—2010 年特大干旱为例 [J]. 遥感学报, 2012, 16 (4): 720–737.
Yan J W, Chen B Z, Fang S F, et al. The response of vegetation index to drought: taking the extreme drought disaster between 2009 and 2010 in southwest China as an example [J]. Journal of Remote Sensing, 2012, 16 (4): 720–737.
- [11] 花立民. 玛曲草原植被 NDVI 与气候和载畜量变化的关系分析 [J]. 草业学报, 2012, 21 (4): 224–235.
Hua L M. Study the change of NDVI and climate factors and carrying capacity and their correlation in Maqu County, Gamsu [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2012, 21 (4): 224–235.
- [12] 周金霖, 马明国, 肖青, 等. 西南地区植被覆盖动态及其与气候因子的关系 [J]. 遥感技术与应用, 2017, 32 (5): 966–972.
Zhou J L, Ma G M, Xiao Q, et al. Vegetation dynamics and its relationship with climatic factors in southwestern China [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2017, 32 (5): 966–972.
- [13] 郭金停, 胡远满, 熊在平, 等. 中国东北多年冻土区植被生长季 NDVI 时空变化及其对气候变化的响应 [J]. 应用生态学报, 2017, 28 (8): 2413–2422.
Guo J T, Hu Y M, Xiong Z P, et al. Spatiotemporal variations of growing-season NDVI and response to climate change in permafrost zone of Northeast China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28 (8): 2413–2422.
- [14] 曾光明, 龙勇, 梁婕, 等. 基于 3S 技术的东洞庭湖湿地植被的分布与适应性分析 [J]. 湖南大学学报 (自然科学版), 2013, 40 (5): 86–91.
Zeng G M, Long Y, Liang J, et al. The spatial distribution and adaptability analysis of vegetation in East Dongting Lake Wetland based on 3S techniques [J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences), 2013, 40 (5): 86–91.
- [15] 张克荣, 刘应迪, 谭淑端, 等. 湖南岳麓山植被演替趋势 [J]. 生命科学研究, 2009, 13 (4): 313–319.
Zhang K R, Liu Y D, Tan S D, et al. Vegetation succession trend in Yuelu Mountain, Hunan, China [J]. Life Science Research, 2009, 13 (4): 313–319.
- [16] 黄发松, 王延春. 湘、鄂、赣发展晚粳稻生产的条件与建议 [J]. 中国稻米, 2010, 16 (6): 67–68.
Huang F S, Wang Y C. Conditions and suggestions for the development of late Japonica rice production in Hunan, Hubei and Jiangxi [J]. China Rice, 2010, 16 (6): 67–68.
- [17] 尹乐. 湖南降水集中度变化特征分析 [D]. 长沙: 湖南师范大学, 2015.
Yin L. Analysis of precipitation concentration degree changes in Hunan Province [D]. Changsha: Hunan Normal University, 2015.
- [18] 祁承经. 湖南植被地理分布的基本规律 [J]. 植物分类与资源学报, 1984 (4): 55–68.
Qi C J. The fundamental pattern of the geographic distribution of vegetation in Hunan Province [J]. Plant Diversity, 1984 (4): 55–68.
- [19] 中国科学院中国植被图编辑委员会. 中国植被图集 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.
Editorial Board of Vegetation Map of China, Chinese Academy of Sciences. Vegetation regionalization map of China [M]. Beijing: Science Press, 2001.
- [20] 中国气象局预测减灾司. 中国气象地理区划手册 [M]. 北京: 气象出版社, 2006.
China Meteorological Administration. Handbook of meteorological geography in China [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2006.
- [21] 陈晓玲, 曾永年. 亚热带山地丘陵区植被 NPP 时空变化及其与气候因子的关系: 以湖南省为例 [J]. 地理学报, 2016, 71 (1): 35–48.
Chen X L, Zeng Y N. Spatial and temporal variability of the net primary production (NPP) and its relationship with climate factors in subtropical mountainous and hilly regions of China: a case study in Hunan Province [J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71 (1): 35–48.
- [22] 邓伟, 袁兴中, 刘红, 等. 区域性气候变化对长江中下游流域植被覆盖的影响 [J]. 环境科学研究, 2014, 27 (9): 1032–1042.
Deng W, Yuan X Z, Liu H, et al. Influence of regional climate change on vegetation cover in the middle and lower Yangtze River Basin [J]. Research of Environmental Sciences, 2014, 27 (9): 1032–1042.

(责任编辑 赵 勃
责任编辑 孟 平)