

DOI: 10.12335/2096-8981.2022061001

## 2000—2020 年我国五大国家公园植被覆盖时空变化特征

张晓莹<sup>1,2</sup> 何毅<sup>1,2\*</sup> 赵蕾<sup>1,2</sup>

(1. 西北大学城市与环境学院, 西安 710127; 2. 陕西省地表系统与环境承载力重点实验室, 西安 710127)

**摘要:**【目的】明确 2000—2020 年我国 5 大国家公园内的植被覆盖变化特征, 揭示气候对植被覆盖的影响。【方法】基于 MODIS-NDVI 数据, 采用趋势分析和 Hurst 指数分析 5 大国家公园园区 2000—2020 年的植被时空变化特征以及未来变化趋势, 并将气温和降水作为影响因子, 利用偏相关分析法探究植被覆盖变化与气象因子的关系。【结果】2000—2020 年 5 个园区的植被覆盖均呈波动上升趋势, 其中海南热带雨林国家公园增速最快, 大熊猫国家公园增速最慢; 2000—2020 年各园区内植被覆盖变化以改善为主, 改善面积均占各园区面积的 70% 以上; 5 大园区未来植被变化反持续性要强于持续性, 变化类型均以由增加到减少为主, 其中在东北虎豹国家公园植被减少趋势最为显著; 三江源和大熊猫国家公园内的植被覆盖变化在年际水平上与降水的相关性较强, 其他园区的变化主要受气温影响; 三江源、大熊猫、东北虎豹、海南热带雨林和武夷山园区的植物生长对气温分别表现出 0、1、0、2 和 2 个月为主的时滞效应; 对降水而言, 仅在海南热带雨林园区表现出有 1 个月的滞后性, 其余园区均没有明显滞后效应。【结论】我国 5 大国家公园植被在近 21 年都得到了改善, 受气温和降水的影响呈现不同的时空变化特征, 但未来植被变化反持续性较强, 需重点关注。

**关键词:** 国家公园; 植被覆盖; 趋势分析; Hurst 指数; 气象因素; 滞后性

**中图分类号:** X826 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-8981(2023)03-0011-17

张晓莹, 何毅, 赵蕾. 2000—2020 年我国五大国家公园植被覆盖时空变化特征[J]. 自然保护地, 2023, 3(3): 11–27.

ZHANG Xiaoying, HE Yi, ZHAO Lei. The Spatial-Temporal Variation Characteristics of Vegetation Coverage in Five National Parks from 2000 to 2020[J]. Natural Protected Areas, 2023, 3(3): 11–27.

根据联合国政府间气候变化专门委员会 (intergovernmental panel on climate change, IPCC) 最新的第 6 次研究报告显示, 1850—1990 年, 全球的地表平均温度已增加约 1℃, 并且从 2021—2040 年的地表气温变动来看, 预估全球气温将会升高 1.5℃ 甚至更高<sup>[1]</sup>。全球气候的变化与陆地生态系统紧密相关, 气候的剧烈变化必然会对生态系统造成重大影响<sup>[2]</sup>。作为陆地生态系统赖以生存和发展的根本, 植被连接了自然界中的大气、土壤和水分, 在地球生态系统进行能量流动、物质

循环和信息传递的过程中具有重要先导作用<sup>[3]</sup>。同时, 植被可以敏感地反映人类活动和气候变化, 故植被的覆盖状况也被视为评估区域生态系统健康状况的一项重要指标<sup>[4]</sup>。随着全球变暖成为当前科学研究的焦点, 植被对气候变化的响应也日益成为学术界广为关注的科学问题<sup>[5]</sup>。

目前, 归一化植被指数 (normalized difference vegetation index, NDVI) 被视为表征植被覆盖的最优指数<sup>[6–7]</sup>。NDVI 与植被覆盖度、光合作用以及生长状况等关系密切, 能够综合衡量区域

收稿日期: 2022-06-09; 修回日期: 2022-09-28

基金项目: 国家自然科学基金专项项目 (42341102); 中国南北过渡带综合科学考察 (2017FY100904)

\* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: yihe@nwu.edu.cn

<http://npa.net.cn/>

植物的覆盖水平和生长状况<sup>[8]</sup>,从而被广泛应用于植被覆盖的动态研究。基于此,许多学者对不同地区植被覆盖的动态变化及其气候影响因子进行了研究。例如,Tucker等<sup>[9]</sup>研究发现,在北半球中纬度地区,全球变暖导致植被覆盖呈现增加趋势。Piao等<sup>[10]</sup>研究发现,欧亚大陆的植被覆盖总体呈增加趋势,但在1997年前后出现翻转,并据此分析了温度和降水对植被变化过程的影响。学者们对于国内的研究主要集中于我国东部<sup>[11]</sup>、西北干旱区<sup>[12]</sup>、黄土高原<sup>[13]</sup>、秦巴山地<sup>[14]</sup>等生态脆弱区。由上述研究结果可发现,在不同的时间尺度上植被覆盖均呈现增加的趋势。在我国东部地区不同的土地利用类型其气候影响因素不同,西北地区的植被覆盖变动与温度和降水相关性较显著,同时植被变化对气象因子的响应也存在一定的时滞效应。黄土高原NDVI年际变化也与温度和降水呈显著相关性,秦巴山区植被覆盖与温度的相关性比与降水的相关性高。综上所述,在植被覆盖度和气象因子的相关性研究中,重点集中在温度和降水2个方面,且研究区不同导致其变化的主导因素不同。

建立国家公园是中国生态文明制度建设的重要内容,能够有效地保护大空间尺度的生态过程及该区域的生物物种和自然生态环境,并提供文化教育、休闲游憩的机会<sup>[15]</sup>。在多项工作稳步推进下,我国于2021年10月正式设立了三江源、大熊猫、东北虎豹、海南热带雨林和武夷山5个国家公园,总面积达到23万km<sup>2</sup>,包含了约30%的国家重点保护野生动植物,其保护研究价值无以取代。然而,目前关于国家公园植被的研究较少,从国家公园视角开展园区内的植物生长状况监测与评估,对于区域生态系统的环境质量、平衡状况和野生动植物的保护具有重要意义。基于上述认识,选择5个国家公园作为研究区,分析2000—2020年园区内植被变化特征及未来变化趋势,并将气温和降水作为影响因子,探讨气候变化对植被覆盖的影响,以期为进一步加强对野生动植物生长环境的保护和国家公园的建设管理提供一定的科学依据。

## 1 研究区概况

本课题研究区为5个国家公园,分别为三江源国家公园、大熊猫国家公园、东北虎豹国家公园、海南热带雨林国家公园和武夷山国家公园。

三江源国家公园位于青海省,处于青藏高原腹地,包括黄河源、长江源和澜沧江3个园区,总面积达12.31万km<sup>2</sup>,以高山和峡谷地貌为主。园区内溪流密布,雪山冰川遍布,沼泽众多,拥有大量的水草资源和野生动植物,为我国一道重要的生态屏障,对于我国的生态文明建设具有重要意义。

大熊猫国家公园跨过四川、陕西和甘肃三省,涉及邛崃山—大相岭片区、岷山片区、白水江片区和秦岭片区,总面积达2.7134万km<sup>2</sup>。园区内秦岭山系横亘其中,地势崎岖。自然资源丰富,水系发达,园区内生活着全国87%的野生大熊猫,包含了除大熊猫以外的8000多种野生动植物。

东北虎豹国家公园位于我国黑龙江和吉林省两省交界的老爷岭南区域,东部和东南部接壤俄罗斯,西南部与朝鲜相邻,是中、俄、朝三国的交界地带,总面积达1.4926万km<sup>2</sup>。园区内郁郁葱葱的温带针阔叶混交林生态系统是众多生物的家园,400多种野生动植物栖息于此,其中最引人注目是的50余只野生东北虎。

海南热带雨林国家公园位于海南省中部山区,总面积达4400km<sup>2</sup>,占海南岛面积的1/7,集中分布的区域是海南岛主要江河的源头和重要的水源涵养区。园内温暖、湿润的水热条件孕育了全海南岛95%以上的原始森林和中国面积最大的热带雨林,形成了以森林生态系统为主体的国家公园。

武夷山国家公园位于福建省武夷山脉北部,总面积为1001.41km<sup>2</sup>。武夷山国家公园内育有全球同纬度带面积最大、最具代表性的中亚热带原生性森林生态系统,拥有着丰富多样的植物种类,基本涵盖了我国中亚热带地区所有的植物种类,是中国亚热带东部区域林木植物保护体系最为完整的地方<sup>[16]</sup>。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源及预处理

本研究所使用的 NDVI 数据来自于美国国家航空航天局的 MODIS 产品 MOD13A1 (<https://www.nasa.gov>), 收集了研究区域在 2000—2020 年的 NDVI 数据; 空间分辨率为 500 m, 时间分辨率为 16 d。此产品数据由于进行了水、云、重气溶胶等处理, 以及较高的空间分辨率被广泛应用于植被覆盖度研究。对于下载的数据通过使用 MRT 进行投影和格式转换, 并使用最大合成法合成月值, 进而将月值合成年值, 最后利用各研究区边界的裁剪获得 NDVI 数据。

为分析植被覆盖与气象因子的关系, 共收集了 2000—2020 年 5 个园区内及其周边共 83 个气象站点的逐日气温和降水数据。为便于分析, 利用克里金插值法将气温、降水插值为与 NDVI 同为 500 m 分辨率的栅格数据。上述逐日气温和降水数据均来源于中国国家气象科学数据中心 (<http://data.cma.cn>)。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 Sen+Mann-Kendall 趋势分析

采用 Theil-Sen Median 趋势分析和 Mann-Kendall 检验方法, 两者如今已被广泛地应用于植被的长时间序列趋势分析中。该方法改善了线性回归法的缺点, 能够有效地减少噪声干扰, 并且不需要数据服从一定的正态分布, 使分析结果更为准确、可信。已有大量论文对该方法进行了详细介绍<sup>[17-18]</sup>, 此处不再赘述。

#### 2.2.2 Hurst 指数

Hurst 指数是描述时间序列长期依赖性的有效方法, 可以反映序列的自相似性和序列发展的相关强度<sup>[19]</sup>。根据计算结果, 本研究将  $H$  值分为 3 类: 1) 当  $0 < H < 0.5$  时, 则表明时间序列未来变化趋势与过去相反; 2) 当  $H = 0.5$  时, 则表明时间序列为随机序列, 无持续性; 3) 当  $0.5 < H < 1$  时, 则表明时间序列未来变化趋势与过去一致。

#### 2.2.3 偏相关分析

地理系统是一个由多重要素所组成的复杂生

态系统, 体系内某个要素的变动必然会导致其他要素的变动。偏相关分析是指在研究 2 个特定变量的相互关系时, 消除其他与其有关变量的因素后, 只研究 2 个变量之间相关关系的过程<sup>[20]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 植被覆盖时间变化特征

通过对 2000—2020 年期间 5 个国家公园的 NDVI 值进行曲线拟合, 研究结果 (图 1) 表明: 在整体变化趋势上, 三江源国家公园 NDVI 指数值在 0.25~0.40 范围内波动, 其他 4 个国家公园在 0.80~0.95 范围内表现出不同程度的波动情况。2000—2020 年 5 个园区的植被覆盖均呈上升趋势, 其中以海南热带雨林国家公园增速最快, 大熊猫国家公园增速最慢, 分别以每年 0.002 5 和 0.001 1 的速率逐年增长。武夷山、三江源、东北虎豹国家公园分别以每年 0.001 8、0.001 5 和 0.001 3 的速率波动上升。

从分阶段看, 三江源园区近 21 年的植被增长可分为 3 个阶段: 2000—2010 年呈增长趋势; 2011—2015 年呈减少趋势, 且在 2015 年 NDVI 值减至最小值 0.30; 2016—2020 年植被出现明显改善, 到 2020 年 NDVI 值增至最大值 0.36。由此可见, 自 2000 年三江源自然保护区成立, 2005 年保护区的移民、退牧还草等重大工程的实施以及 2015 年国家公园体制试点的设立, 进一步加强了管理力度, 使其植被状况得到明显改善, 但其植物生长的波动也反映了该区域地理条件和人为因素的复杂性<sup>[21]</sup>。大熊猫国家公园的植被在 2000—2007 年期间呈缓慢增长趋势, 且到 2007 年 NDVI 值增至 0.84; 2008—2012 年期间园区植被覆盖出现明显下降, 2012 年是 NDVI 值最小年份, 这说明 2008 年汶川大地震可能给大多数位于岷山片区和邛崃片区的植被造成了重大损失, 波动较大; 从 2013 年开始, 园区内植被覆盖又出现上升趋势, 2020 年 NDVI 值增至 0.86, 这表明省、市出台的植被恢复政策以及对园区内各类自然保护地的管理取得很大成效。东北虎豹国家公园的植被变化

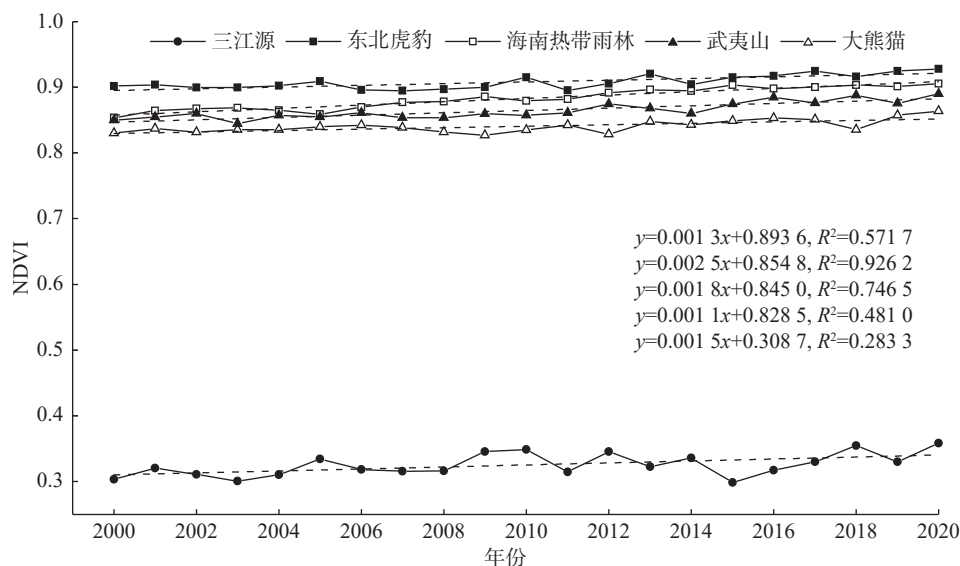


图1 2000—2020年5大国家公园植被覆盖年际变化趋势

Fig. 1 Interannual change trend of vegetation coverage in five National Parks from 2000 to 2020

整体分为3个阶段：2000—2005年呈上升趋势；2006—2011年呈下降趋势（期间可能受到了商业性采伐的影响）；2011年之后植被覆盖大幅增长，且园区在2015年成为试点后于2016年汪清县地方国有林业全面停止了天然林商业性采伐，园区内植物生长得到有效保护。

相比于其他国家公园来说，海南热带雨林园区的植被覆盖波动较小，2000—2005年植被趋于减少，2005年为植被覆盖最小年份。海南岛在2004年没有受到热带气旋的影响，是“无热带气旋影响年”。全年降水明显减少，从2004年9月到2005年7月出现了海南全岛范围干旱现象<sup>[22]</sup>，对植被生长造成影响，导致2005年植被覆盖最低；2006—2020年园区植被覆盖呈现逐年稳步增长趋势，植物生长得到进一步改善。武夷山国家公园2000—2005年植被明显减少，与海南热带雨林园区受气候影响一致，由于福建省南平市在2003和2004年出现了持续高温现象，降雨减少、蒸发量增加，处于大旱状态<sup>[23]</sup>，导致武夷山国家公园内植被显著低于2002年水平；随后在2006—2012年期间武夷山国家公园植被呈增长趋势，但在2012年武夷山市出现极端低温天气，导致2012—2014

年植被又呈现下降趋势；在2015年武夷山国家公园的发展进入新的阶段后，2016—2020年植被覆盖得到了有效恢复。

### 3.2 植被覆盖空间格局分布特征

为了更好地分析植被覆盖变化，将近21年各园区的NDVI指数划分为5个等级<sup>[24]</sup>，分别为低植被覆盖（0~0.2）、中低植被覆盖（0.2~0.4）、中植被覆盖（0.4~0.6）、中高植被覆盖（0.6~0.8）和高植被覆盖（0.8~1）。

三江源国家公园的植被覆盖具有明显的空间分布差异，整体呈现由西北向东南增加的变化趋势。低植被覆盖区和中低植被覆盖区所占比重最大，占据园区面积的65.53%；其次为中植被覆盖区和高植被覆盖区，分别占比22.85%和11.57%；高植被覆盖区极少。从图2可以看出，长江源园区的植被覆盖最低，植被大多分布在澜沧江园区和黄河源园区南部地区。为了更好地实现园区保护，将各园区按照生态系统功能划分为核心保育区、生态保育修复区和传统利用区，实行差别化管理。按三江源园区功能区划看，园区内植被覆盖偏低的区域主要分布在核心保育区，以长江源园区分布为主，相对偏高的植被覆盖区域主要分



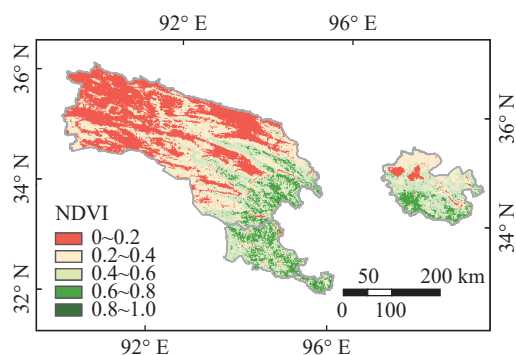


图2 三江源国家公园 21 年平均植被覆盖空间

Fig. 2 Average vegetation coverage space for 21 years in Three-River-Source National Park

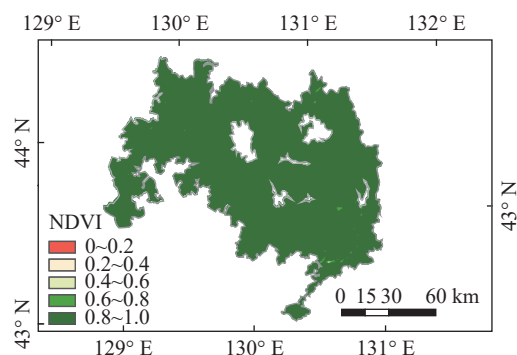


图4 东北虎豹国家公园 21 年平均植被覆盖空间

Fig. 4 Average vegetation coverage space for 21 years in Northeast China Tiger and Leopard National Park in 21 years

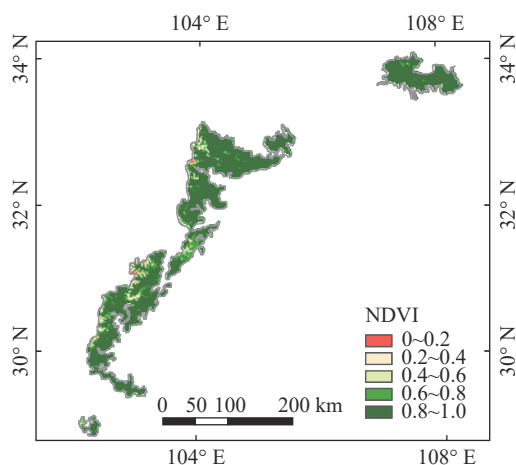


图3 大熊猫国家公园 21 年平均植被覆盖空间

Fig. 3 Average vegetation coverage space for 21 years in Giant Panda National Park

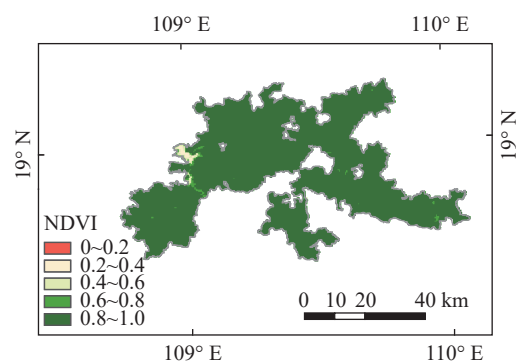


图5 海南热带雨林国家公园近 21 年平均植被覆盖空间

Fig. 5 Average vegetation coverage space for 21 years in National Park of Hainan Tropical Rainforest

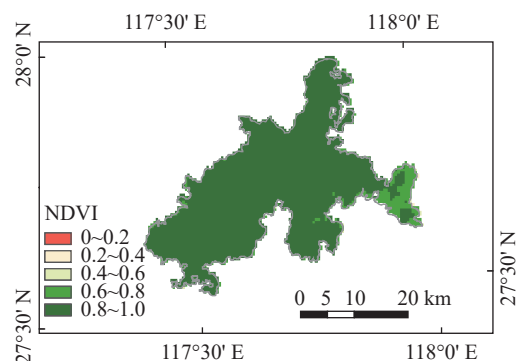


图6 武夷山国家公园近 21 年平均植被覆盖空间

Fig. 6 Average vegetation coverage space for 21 years in Wuyishan National Park

布在传统利用区。图3表明,大熊猫国家公园绝大部分区域属于高植被覆盖区,占园区植被面积的83.92%;其次为中高植被覆盖地区占比10.73%,较少有低植被覆盖区。其中,高植被覆盖区大多属于核心保护区,由此看出国家公园的建设是根据地区差异化进行功能分区,从而可以更好地保护园区内植物的生长。

由图4-6可以看出,东北虎豹国家公园、海南热带雨林国家公园和武夷山国家公园均以高植被覆盖为主,并且均明显高于大熊猫国家公园。其中:东北虎豹国家公园高植被覆盖区域遍布园

区, 占园区面积的 98%; 海南热带雨林和武夷山国家公园高植被覆盖区域分别高达 97% 和 92%, 鲜有低植被覆盖区域, 植被在整个园区均得到了良好的保护。在 2 个园区中分布差异较明显的高植被覆盖区分别隶属于海南热带雨林国家公园和武夷山国家公园的一般控制区。在武夷山国家公园内, 植被整体表现出西北高、东南低的变化趋势, 其高植被覆盖区分布的核心保护区一直以来受到严格保护, 是多种野生动植物的栖息地, 并且没有人为干扰, 因此, 其生态环境得到了较好的保护。

### 3.3 2000—2020 年植被覆盖变化趋势特征

参考袁丽华<sup>[17]</sup>对 Theil-Sen Median 和 Mann-Kendall 的分类结果, 将  $S$  值分为 3 类: 改善区域 ( $S \geq 0.0005$ )、稳定区域 ( $-0.0005 < S < 0.0005$ ) 和退化区域 ( $S \leq -0.0005$ )。将 Mann-Kendall 在 0.05 显著性水平上的检验结果分为显著变化 ( $Z_{MK} < -1.96$  或  $Z_{MK} > 1.96$ ) 和不显著变化 ( $-1.96 \leq Z_{MK} \leq 1.96$ )。通过对 Theil-Sen Median 和 Mann-Kendall 两者进行叠加分析, 得到像元尺度上的近 21 年 NDVI 变化趋势, 并将研究结果分为 5 类 (表 1)。同时, 参考黄豪奔等<sup>[25]</sup>对未来空间耦合分析的方法, 将 Theil-Sen Median 和 Hurst 指数的分析结果叠加, 计算结果也分为 5 类, 从而得到像元尺度上园区内 NDVI 的未来变化趋势 (表 2)。

根据 5 个园区近 21 年的 NDVI 空间变化和未来趋势变化图显示, 植被覆盖在空间上均以增长 ( $S \geq 0.0005$ ) 为主, 园区植被得到明显改善; 然

表 1 2000—2020 年 NDVI 变化趋势统计

Table 1 NDVI change trend from 2000 to 2020

$S$ 值	$Z_{MK}$ 值	NDVI变化趋势
$\geq 0.0005$	$\geq 1.96$	明显改善
$\geq 0.0005$	$-1.96 \sim 1.96$	轻微改善
$-0.0005 \sim 0.0005$	$-1.96 \sim 1.96$	稳定不变
$< -0.0005$	$-1.96 \sim 1.96$	轻微退化
$< -0.0005$	$< -1.96$	严重退化

表 2 NDVI 未来变化趋势统计

Table 2 NDVI future change trend

$S$ 值	Hurst值	NDVI未来变化趋势
$\geq 0.0005$	$> 0.5$	持续改善
$\geq 0.0005$	$< 0.5$	由增变减
$-0.0005 \sim 0.0005$	—	无显著变化
$< -0.0005$	$< 0.5$	由减变增
$< -0.0005$	$> 0.5$	持续退化

而, 由于在未来变化中气候和人为不确定性因素的存在, 5 个园区表现出不同程度的植被反持续性变化, Hurst 指数值均在 0.5 以下。

图 7 表明, 三江源园区植被在近 21 年里得到改善的面积为 9.129 86 万  $\text{km}^2$ , 占园区面积的 74.17%, 其中轻微改善和明显改善地区的面积占比分别为 36.22% 和 37.94%。主要分布在核心保育区, 其中以长江源园区的低植被覆盖区和黄河

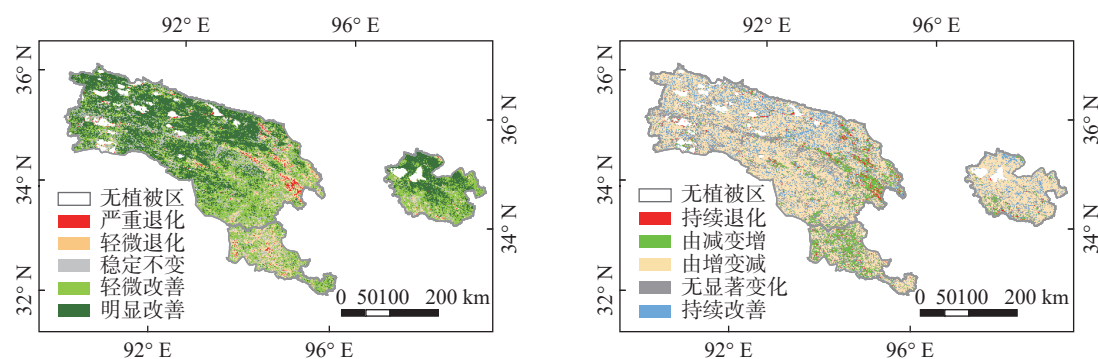


图 7 三江源国家公园年均 NDVI 变化趋势 (左) 和未来变化趋势空间 (右)

Fig. 7 Annual average NDVI change trend (left) and future trends (right) of Three-River-Source National Park

源园区北部的生态保育修复区改善明显。稳定不变的植被类型占园区面积的 14.82%, 而园区植被出现退化的面积高达 1.356 13 万  $\text{km}^2$ , 占园区面积的 11.02%, 其中以轻微退化为主, 占比为 9.47%。退化地区以长江源园区东南部和澜沧江园区西北部表现为主。此园区的 Hurst 平均指数为 0.43, 其中 Hurst 指数小于 0.5 的像元占 80.87%, 反向特征尤为显著。趋势分析和 Hurst 指数叠加结果显示: 未来植被变化以由增到减的变化类型为主, 共占园区面积的 59.18%, 在长江源园区和黄河源园区所占比重较高; 长江源园区的西北部和黄河源园区共有 14.39% 的植被将会持续改善, 并且长江源园区东南部和澜沧江园区西北部地区的植被将在未来保护下增加 9.02% 的植被面积, 持续退化的面积将减少至 2%。

根据图 8 表明, 大熊猫国家公园植被改善面积为 2.063 81 万  $\text{km}^2$ , 占园区面积的 76.06%。其中, 以明显改善为主, 达到园区面积的 46.45%。4 个片区的植被得到明显改善区均主要分布在核心保护区, 该园区的核心保护区大多数位于中海拔区域, 植被覆盖较好, 抵抗力较为稳定, 并且群落结构复杂, 导致核心保护区的植被改善状况较好。稳定不变的植被类型占园区面积的 13.72%, 植被出现退化的面积为 2 774.28  $\text{km}^2$ , 占园区面积

的 10.22%, 其中以轻微退化为主, 占比为 8.87%。值得注意的是, 退化地区主要分布在核心保护区, 集中在岷山片区东南部的九顶山、白水河和龙溪—虹口 3 个自然保护区, 以及邛崃山—大相岭片区的草坡和卧龙自然保护区。植被 NDVI 的 Hurst 平均指数为 0.44, 其中 Hurst 指数小于 0.5 的像元占 76.44%。从空间上看, 未来在 4 个片区内将有 16.59% 的植被得到持续改善, 有 6.42% 的植被由减少变为增加。预测在未来园区经过保护之后, 九顶山、白水河和龙溪—虹口 3 个自然保护区的植被得到明显改善。植被反向减少部分区域零星分布在园区内, 比重为 59.46%, 未来持续退化区域仍以邛崃山—大相岭片区尤为严重。

在东北虎豹国家公园(图 9)、海南热带雨林国家公园(图 10)和武夷山国家公园(图 11)全域内植被得到改善的地区远远大于退化地区, 分别占园区面积的 94.12%、97.31% 和 88.53%。不同的是, 在东北虎豹园区和海南热带雨林园区中植被得到明显改善的地区显著多于轻微改善的地区, 而武夷山园区两部分相差不大, 轻微改善和明显改善的地区仅差 5%。其中, 植被得到明显改善的地区大多分布在园区东南部, 位于武夷山国家自然保护区和景区过渡地带及景区的一般控制区。过渡区为原住民生活、生产的地方, 景

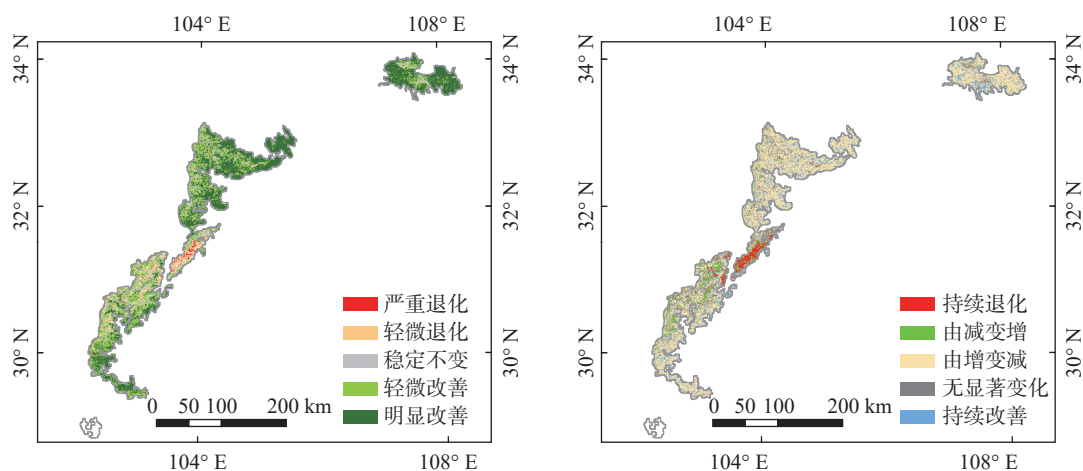


图 8 大熊猫国家公园年均 NDVI 变化趋势(左)和未来变化趋势空间(右)

Fig. 8 Annual average NDVI change trend (left) and future trends (right) of Giant Panda National Park

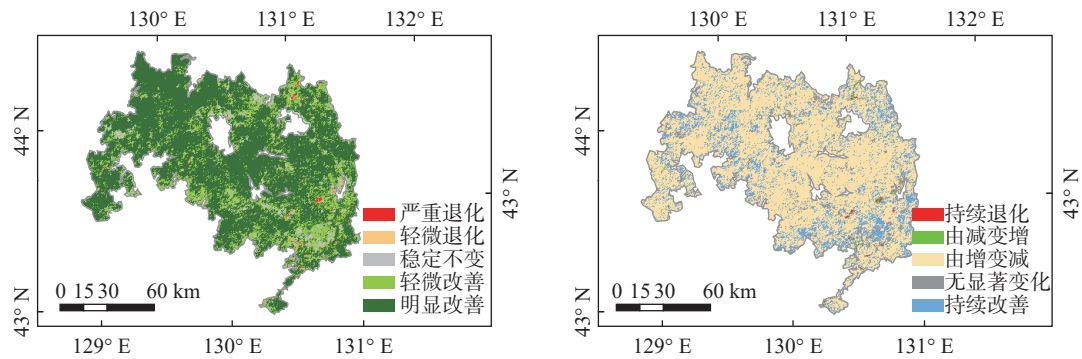


图 9 东北虎豹国家公园年均 NDVI 变化趋势（左）和未来变化趋势空间（右）

Fig. 9 Annual average NDVI change trend (left) and future trends (right) of Northeast China Tiger And Leopard National Park

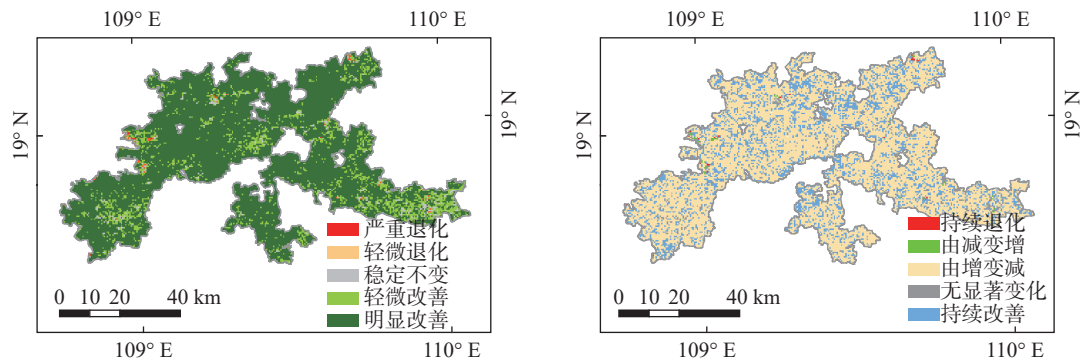


图 10 海南热带雨林国家公园年均 NDVI 变化趋势（左）和未来变化趋势空间（右）

Fig. 10 Annual average NDVI change trend (left) and future trends (right) of National Park of Hainan Tropical Rainforest

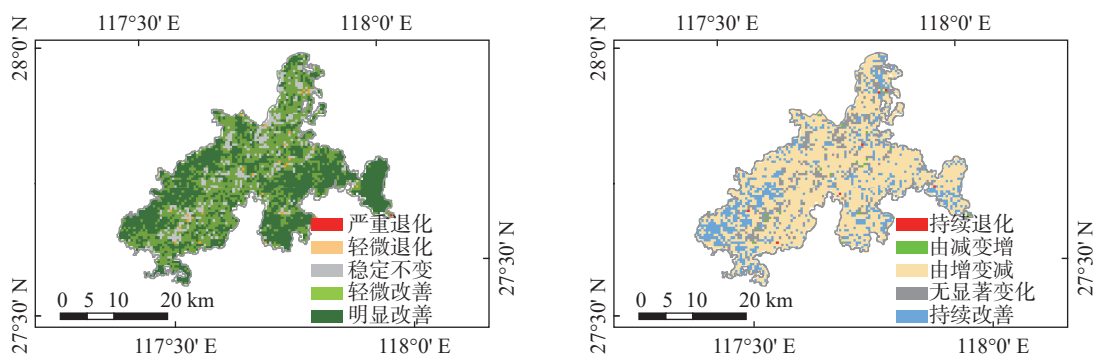


图 11 武夷山国家公园年均 NDVI 变化趋势（左）和未来变化趋势空间（右）

Fig. 11 Annual average NDVI change trend (left) and future trends (right) of Wuyishan National Park

区容易受到旅游人流的影响，2 个地区均有人类活动影响，植被却得到明显改善，这表明人类活动对其植物生长有积极作用，可能与长期的人为绿

化有关<sup>[26]</sup>。3 个园区退化区域面积极少，均不足园区总面积的 1%，稳定不变的区域面积分别占比 5.18%、2.16% 和 10.63%。



从Hurst指数上看,3个园区植被NDVI的Hurst平均指数分别为0.42、0.44和0.42,植被变化也均表现出一定的反持续性,Hurst指数小于0.5的像元分别占79.54%、74.31%和76.84%,反持续性较强。从空间上看,由于近21年植被退化区域极少,在未来变化中基本无持续退化区域,占比也均不足1%。3个园区的变化类型同样均以由增加到减少变化为主,其次为持续改善区域。东北虎豹国家公园在原有植被增长的基础上将有19.03%的区域将持续改善,以核心保护区变化为主;植被由增加到减少的比重达到75.09%,在整个园区内分布广泛,而且在5个园区内减少趋势最为显著,故未来对于该地区的生态系统修复和保护显得尤为重要。从海南热带雨林园区图中可以看出,植被变化同样在全区尺度上变化较大,未来植被变化由增加到减少变化比重为72.37%,在近年来植被得到改善的基础上未来将有24.94%植被持续向好发展。在武夷山园区内,未来植被变化由增加到减少变化比重为67.75%;植被持续改善的区域占比为20.87%,以核心保护区为主,

在过渡区和景区内植被减少变化面积较大,可能受到人类活动的影响较大,对于农户的生产与生活和旅游业在未来需进一步加强管理。

### 3.4 植被覆盖与气象因子的相关性分析

#### 3.4.1 年尺度植被覆盖对气候变化的响应

基于2000—2020年的气温和降水数据,从空间像元尺度上分析了5个园区植被覆盖与气温和降水的偏相关系数,并在0.05显著水平上对其进行 $t$ 检验。由表3可见,三江源国家公园和大熊猫国家公园内的植被覆盖与降水的相关性更高,而其他3个园区与气温的相关性更高。此外,5个研究区内植被覆盖与气温均以正相关为主,呈负相关区域相对较少。降水量的相关结果与之不同,在武夷山园区植被覆盖与降水量整体呈负相关,其他4个园区均以正相关为主。由于我国南方的湿润地区降水量充足,对于海拔较高的低温地面,降水偏多会导致云层加厚,使入射的辐射量减少;同时,气温的下降导致了植物的光合作用减弱,因此,对植物生长发育也具有一定的负作用,这与该研究结果类似<sup>[27]</sup>。

表3 五大国家公园年尺度植被覆盖与气象因子偏相关系数

Table 3 Partial correlation coefficient between annual vegetation coverage and meteorological factors in five National Parks

气象因子	三江源国家公园	大熊猫国家公园	东北虎豹国家公园	海南热带雨林国家公园	武夷山国家公园
降水量/mm	0.207	0.161	0.120	0.090	-0.023
年平均气温/℃	0.152	0.023	0.363	0.305	0.301

2000—2020年研究区内的植被覆盖在空间尺度上对气候响应也表现出较大差异。由图12可知,三江源国家公园内植被覆盖与降水量呈正相关的区域面积为10.1451万 $\text{km}^2$ ,占全园区的82.41%。其中,呈显著正相关的面积为1.6057万 $\text{km}^2$ ,约占13.04%,主要分布在黄河源园区西北部 and 长江源园区东部的相对较低海拔地区。与气温呈正相关的区域面积为9.2580万 $\text{km}^2$ ,占总面积的75.21%。其中呈显著正相关的面积为1.0144万 $\text{km}^2$ ,约占8.24%,主要分布在长江源园区西北部的高海拔寒冷地区。这表明温度对于寒区的影响较大。

由于处于西北干旱区,园区整体上会受降水的影响较大。

在图13中,大熊猫国家公园的植被覆盖与降水量呈正相关的区域面积为2.0267万 $\text{km}^2$ ,占总面积的74.69%。其中,显著正相关的区域为3049 $\text{km}^2$ ,约占11.24%,主要零星分布在岷山片区的秦岭片区的东北部。与气温呈正相关的区域面积为1.4752万 $\text{km}^2$ ,占总面积的54.37%,其中呈显著正相关的区域较少,仅占1.82%,主要集中在岷山片区东南部九顶山、白水河和龙溪—虹口3个自然保护区的高海拔地区。

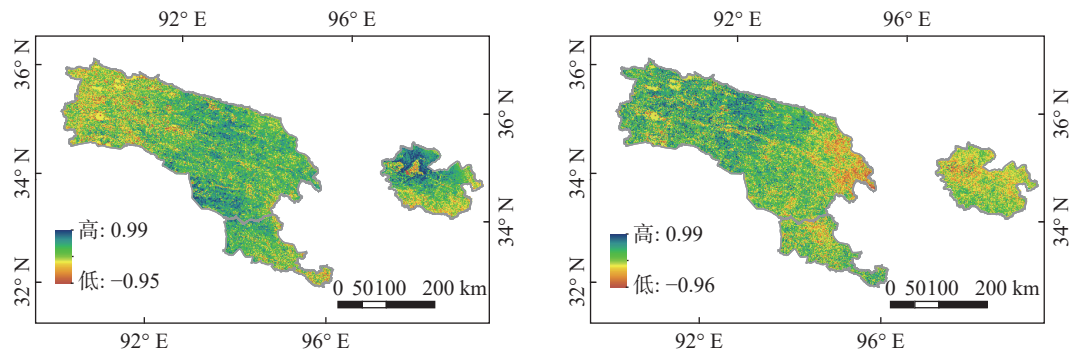


图 12 三江源国家公园植被覆盖与降水（左）和气温（右）偏相关空间分布

Fig. 12 Partially correlated spatial distribution between vegetation coverage and precipitation (left) and temperature (right) in Three-River-Source National Park

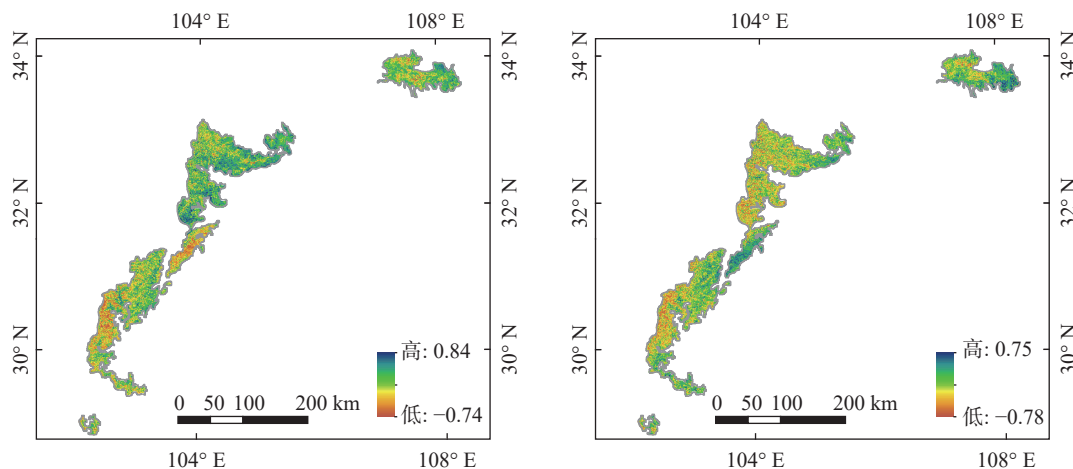


图 13 大熊猫国家公园植被覆盖与降水（左）和气温（右）偏相关空间分布

Fig. 13 Partially correlated spatial distribution between vegetation coverage and precipitation (left) and temperature (right) in Giant Panda National Park

由图 14~16 表明，在其他 3 个与温度相关性更强的园区，其植被覆盖与温度呈正相关的区域均超过 90%。位于寒区的东北虎豹国家公园内植被覆盖与温度的相关性更强，其中与温度呈正相关的区域面积为 1.427 0 万  $\text{km}^2$ ，占总面积的 95.6%，呈显著正相关的面积为 4 966  $\text{km}^2$ ，约占总面积的 33.27%，主要分布在核心保护区东南部的沿海地区。与降水呈正相关的区域面积为 1.097 8 万  $\text{km}^2$ ，占总面积的 73.55%，其中呈显著正相关的区域面积为仅占 3.49%，主要分布在园区的中部地区。

对于气候相对温暖、湿润的海南热带雨林国家公园和武夷山国家公园，相较降水来说受到温

度的影响也更大。从空间上看，在海南热带雨林国家公园园区，植被覆盖与温度和降水的空间格局大致相同，相关性均由西向东减少。其中，与温度呈正相关的区域面积显著高于与降水呈正相关的面积，约占总面积的 93.50%。呈显著正相关的区域面积为 1 040  $\text{km}^2$ ，约占总面积的 23.64%，主要分布在园区的西部地区。在武夷山国家公园内，植被覆盖与降水呈负相关表现明显，与降水呈负相关的区域面积为 560  $\text{km}^2$ ，占总面积的 55.92%，但显著性不强，显著负相关面积仅占 1.20%，主要分布在园区的南部地区。与温度呈正相关的区域面积达总面积的 93.89%，呈显著正相

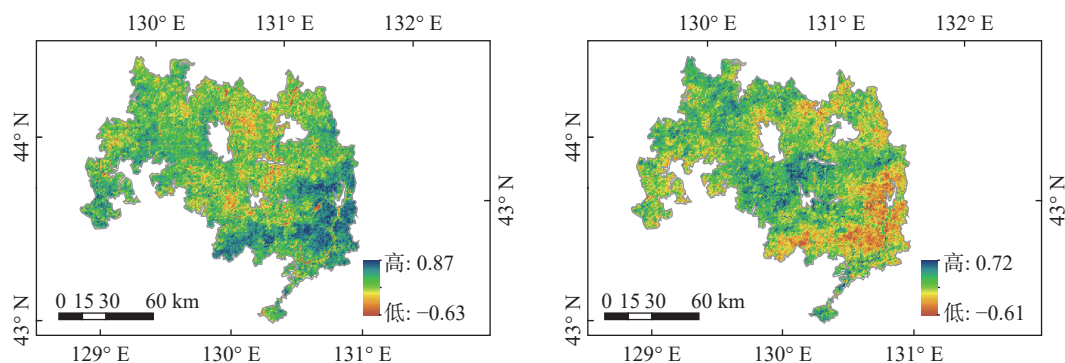


图 14 东北虎豹国家公园植被覆盖与降水（左）和气温（右）偏相关空间分布

Fig. 14 Partially correlated spatial distribution between vegetation coverage and precipitation (left) and temperature (right) in Northeast China Tiger And Leopard National Park

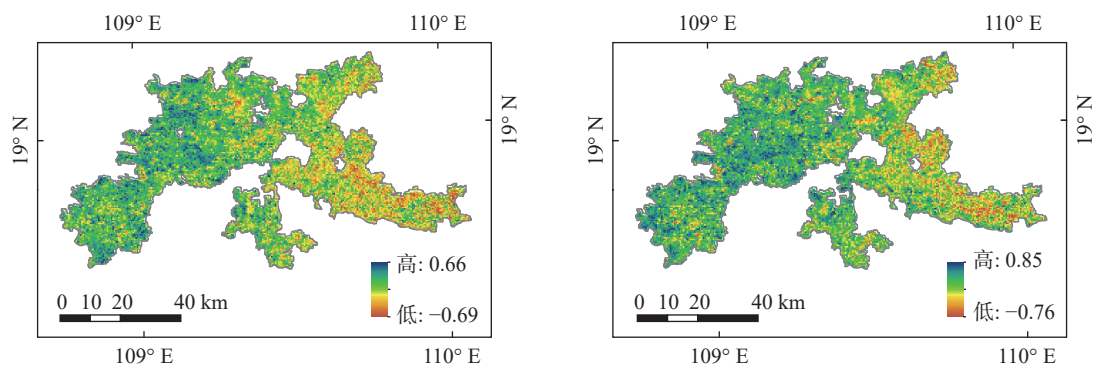


图 15 海南热带雨林国家公园植被覆盖与降水（左）和气温（右）偏相关空间分布

Fig. 15 Partially correlated spatial distribution between vegetation coverage and precipitation (left) and temperature (right) in National Park of Hainan Tropical Rainforest

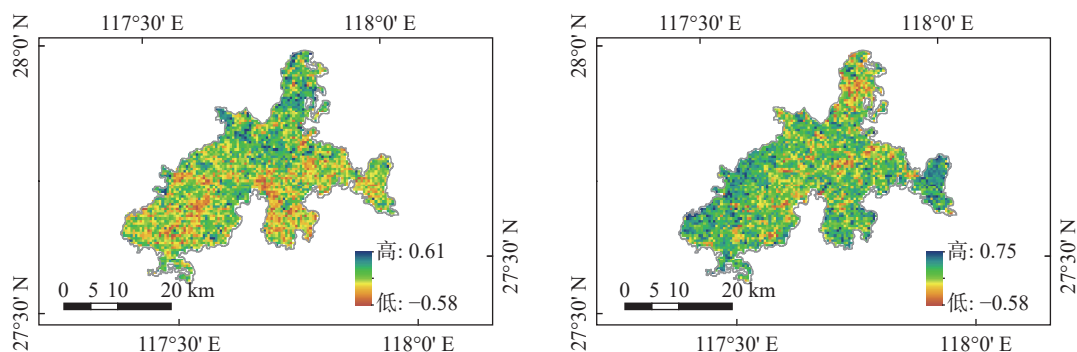


图 16 武夷山国家公园植被覆盖与降水（左）和气温（右）偏相关空间分布

Fig. 16 Partially correlated spatial distribution of correlation between vegetation coverage and precipitation (left) and temperature (right) in Wuyishan National Park

关的区域主要分布在园区的西南部和东部地区，  
占园区总面积的 23.06%，累计 231 km<sup>2</sup>。

### 3.4.2 月尺度植被覆盖对气候变化的响应

气候对植物的生长具有时间滞后效应，即植

物生长不能对气温和降水等影响因子进行及时的反馈，两者之间存在一定的不对称时间关系<sup>[28]</sup>。可通过计算滞后期用于表示其影响因子对植物生长的影响，现有研究表明，植物生长对气候的滞后期一般小于1个季度<sup>[29]</sup>。本研究以2000—2020年

同期的NDVI、气温和降水量的多年月平均值为基础，在空间像元尺度上分别计算了植被覆盖与前0~3个月的气温和降水偏相关系数，将偏相关系数绝对值的最大值所对应的月份作为滞后期，结果如表4所示。

表4 五大国家公园月尺度植被覆盖与气象因子偏相关系数

Table 4 Partial correlation coefficient between monthly vegetation coverage and meteorological factors in five National Parks

计算类型	平均系数	正相关面积占比/%		计算类型	平均系数	正相关面积占比/%	
		显著	总面积			显著	总面积
NDVI <sub>1-T0</sub>	0.43*	29.01	92.94	NDVI <sub>1-P0</sub>	0.85*	94.92	98.11
NDVI <sub>1-T1</sub>	-0.07	0.42	25.72	NDVI <sub>1-P1</sub>	0.49	10.30	97.59
NDVI <sub>1-T2</sub>	0.27	0.52	97.87	NDVI <sub>1-P2</sub>	-0.11	0.18	11.11
NDVI <sub>1-T3</sub>	0.41	2.23	98.20	NDVI <sub>1-P3</sub>	-0.42	0.19	1.02
NDVI <sub>2-T0</sub>	0.25	12.03	79.78	NDVI <sub>2-P0</sub>	0.22*	7.60	78.78
NDVI <sub>2-T1</sub>	0.40*	28.37	87.79	NDVI <sub>2-P1</sub>	-0.14	1.50	33.02
NDVI <sub>2-T2</sub>	0.30	16.42	85.73	NDVI <sub>2-P2</sub>	-0.19	0.82	26.11
NDVI <sub>2-T3</sub>	0.01	0.91	46.28	NDVI <sub>2-P3</sub>	-0.01	0.31	53.30
NDVI <sub>3-T0</sub>	0.60*	57.18	99.84	NDVI <sub>3-P0</sub>	0.41*	1.97	99.96
NDVI <sub>3-T1</sub>	0.52	12.72	99.09	NDVI <sub>3-P1</sub>	0.03	0.00	73.28
NDVI <sub>3-T2</sub>	0.43	0.92	100.00	NDVI <sub>3-P2</sub>	-0.24	0.00	0.02
NDVI <sub>3-T3</sub>	0.24	0.00	100.00	NDVI <sub>3-P3</sub>	-0.25	0.00	0.00
NDVI <sub>4-T0</sub>	0.05	17.29	49.63	NDVI <sub>4-P0</sub>	0.10	7.73	63.25
NDVI <sub>4-T1</sub>	0.10	18.94	54.11	NDVI <sub>4-P1</sub>	0.36*	23.52	95.07
NDVI <sub>4-T2</sub>	0.17*	29.48	63.83	NDVI <sub>4-P2</sub>	0.06	21.29	52.54
NDVI <sub>4-T3</sub>	0.07	8.75	60.33	NDVI <sub>4-P3</sub>	0.12	13.91	54.16
NDVI <sub>5-T0</sub>	0.63	64.58	97.78	NDVI <sub>5-P0</sub>	-0.55*	0.00	0.76
NDVI <sub>5-T1</sub>	0.73	80.27	99.95	NDVI <sub>5-P1</sub>	-0.20	2.61	25.34
NDVI <sub>5-T2</sub>	0.74*	90.53	99.46	NDVI <sub>5-P2</sub>	0.02	12.53	51.27
NDVI <sub>5-T3</sub>	0.40	14.28	94.26	NDVI <sub>5-P3</sub>	0.47	39.58	93.82

注：计算类型NDVI下标中，1、2、3、4、5分别代表三江源、大熊猫、东北虎豹、海南热带雨林和武夷山国家公园，T、P分别代表气温和降水，P0、P1、P2、P3分别代表当月降水、前1月降水、前2月降水和前3月降水；\*表示0~3月中偏相关系数最大值。

由表4可知，5个地区的植被对于气温和降水的滞后效应不同。其中，三江源国家公园和东北虎豹国家公园的植被NDVI与当月的气温和降水偏相关系数最大，均高于前0~3个月系数值，分别为0.43、0.85和0.60、0.41，且以正相关为主，

明显大于年尺度的相关性。此外，2个地区的植被覆盖与气温和降水的正相关面积统计显示，在三江源园区分别有92.94%和98.11%的地区与植被覆盖呈正相关，其中通过 $P<0.05$ 检验的地区比重分别为29.01%和94.92%；在东北虎豹国家公园



分别有 99.84% 和 99.96% 的地区与植被覆盖呈正相关,通过  $P < 0.05$  检验的面积比重分别为 57.18% 和 1.97%,均高于其他月份的显著正相关面积。这表明在月水平上 2 个园区的植物生长对气温和降水量不存在时滞效应,植物遵循气温和降水的变化稳定生长。

大熊猫国家公园植被覆盖与前 1 个月气温的偏相关系数最大 (0.40),与当月降水量的偏相关系数最大 (0.22),植被对前 1 个月的气温和当月的降水反应最为明显。与之对应的呈正相关面积分别为 87.79% 和 78.78%。同时,NDVI 与前 1 个月气温和当月降水量呈显著正相关的面积最大,占比分别为 28.37% 和 7.60%。总体而言,在月尺度上,该园区的植被对气温具有 1 个月的滞后效应,而对降水没有明显的滞后效应。

海南热带雨林国家公园植被覆盖与前 2 个月气温的偏相关系数最大 (0.17),与前 1 个月降水量的偏相关系数最大 (0.36)。相对应的呈正相关面积占比分别为 63.83% 和 95.07%。从正相关显著性面积来看,NDVI 与前 2 个月气温、前 1 个月降水量呈显著正相关的面积最大,占比分别为 29.84% 和 23.52%。总体上看,在月尺度上,该园区的植被对气温具有 2 个月的滞后效应,对降水具有 1 个月的滞后效应。

武夷山国家公园植被覆盖与前 2 个月气温的偏相关系数最大 (0.74),与当月降水量的偏相关系数最大 (-0.55),但与降水量表现出负相关,与年际值表现一致。统计结果表明,植被 NDVI 与前 2 个月气温、当月降水量的正相关和负相关面积占比分别为 99.46% 和 99.24%。同时,显著正相关和显著负相关面积占比分别为 90.53% 和 42.43%,同样高于其他月份占比。这表明在月尺度上,该园区的植被对气温具有 2 个月的滞后效应,对降水没有滞后效应。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

本研究基于 MODIS-NDVI 数据,分析了

2000—2020 年期间 5 个国家公园的植被覆盖变化特征及未来变化趋势。利用研究区的气温和降水数据,从空间尺度上分析了植被覆盖变化与气温和降水的关系。研究结果发现,处于我国不同地理环境的 5 个国家公园,其植被覆盖状况因植物的生长条件有所差异。从整体来看,5 个园区的植被覆盖状况均在 2000—2020 年期间均有所好转,植被覆盖面积在逐年增多;在空间尺度上的变化趋势也表现为以改善为主,仅有少数植被退化地区,经分析可发现导致其发生变化的主要气候因子各不相同。对于未来植被的变化趋势,5 个园区的 Hurst 指数均在 0.5 以下,表现出一致的变化方向,即出现不同程度的反持续性变化。通过对各园区进行分析,可得出以下结论:

1) 三江源国家公园、大熊猫国家公园、东北虎豹国家公园、海南热带雨林国家公园和武夷山国家公园的近 21 年平均 NDVI 值分别为 0.33、0.84、0.90、0.88 和 0.86。其中:三江源国家公园以低植被覆盖区所占比重最大,占据园区面积的 33.78%;大熊猫国家公园的高植被覆盖区占园区植被面积的 83.92%;东北虎豹国家公园、海南热带雨林国家公园和武夷山国家公园高植被覆盖基本遍布园区,分别占据了园区面积的 98%、97% 和 92%。近 21 年 5 个园区的 NDVI 值均呈波动上升趋势,三江源国家公园、大熊猫国家公园、东北虎豹国家公园、海南热带雨林国家公园和武夷山国家公园分别以每年 0.001 5、0.001 1、0.001 3 和 0.001 8 的速率增长,并且海南热带雨林园区增速最快,大熊猫园区增速最慢。

2) 2000—2020 年 5 个园区植被覆盖均以改善为主,各研究区内均有 70% 以上地区呈现上升趋势。值得注意的是,在三江源国家公园和大熊猫国家公园 2 个园区中分别有 11.02% 和 10.22% 地区的植被出现退化,主要集中于长江源园区东南部、澜沧江园区西北部和岷山片区东南部的九顶山、白水河、龙溪—虹口 3 个自然保护区,以及邛崃山—大相岭片区的草坡和卧龙自然保护区。东北虎豹国家公园、海南热带雨林国家公园和武

夷山国家公园植被得到改善的地区基本覆盖全区，退化面积不足1%。

3) 三江源国家公园、大熊猫国家公园、东北虎豹国家公园、海南热带雨林国家公园和武夷山国家公园的 Hurst 指数分别为 0.43、0.44、0.42、0.44 和 0.42。未来植被变化反持续性要强于持续性，变化类型均以由增加到减少为主，分别占园区面积的 59.18%、59.46%、75.09%、72.37% 和 67.65%。其中，在东北虎豹国家公园植被减少趋势最为显著。

4) 在年尺度上三江源国家公园和大熊猫国家公园内的植被覆盖与降水的相关性更高，东北虎豹国家公园、海南热带雨林国家公园和武夷山国家公园与气温的相关性更高。同时，5 个研究区内植被覆盖与气温均以正相关为主，呈负相关区域相对较少。而在武夷山园区内植被覆盖与降水量整体呈负相关，其他 4 个园区均以正相关为主。在月尺度上，三江源国家公园和东北虎豹国家公园的植物生长对气温和降水不具有时滞性。大熊猫国家公园、海南热带雨林国家公园和武夷山国家公园气温的响应分别具有 1、2、2 个月的时滞反应，而对降水分别表现出 0、1、0 个月的滞后效应。

## 4.2 讨论

国家公园是独特的地域综合体，具有生态防护、科学研究、文化休闲等诸多功能。建立国家公园体制对园区环境进行有效保护，可以大幅提升我国的自然生态系统质量。本研究探究了我国 5 个国家公园的植被变化特征和气候影响因子，可为园区的生态保护提供一定的理论支持。目前，从植被覆盖的角度对于国家公园内研究较少，且大多聚焦在对三江源国家公园、大熊猫国家公园和武夷山国家公园的植被覆盖<sup>[30–32]</sup>上，其中对三江源国家公园的研究最多。5 个国家公园在近 21 年植物生长状况整体呈向好态势发展，这与现有对上述 3 个公园的研究结论基本相符，并且针对现有的三江源园区植被驱动力的研究，其植被增长的主要原因为降雨，也与彭凯锋的结论一致。但与现存研究不同的是，在 5 个园区植被未来变

化趋势上，本研究得出的结论为其生长反持续性较强，植被减少面积较多。与此同时，本研究也具有一定的局限性：首先，所使用的 500 m 分辨率的 NDVI 数据，虽然可以反映植被整体变化特征，但是不能详细地表示植物的生长信息；其次，仅分析了气候影响因子，未分析人类活动对园区生态环境的影响；最后，未分析各个园区内特有珍稀物种的分布及其栖息地变化趋势，对国家公园整体生态环境的评估有所欠缺。随着全球气候变暖和人类活动的加剧，未来植物生长受到的双重影响可能会更大。如果极端气候事件的不稳定增加，那么植物的生长则会面临更大的挑战。在三江源地区，气候是植被变化的主导因素，随着气温和降水量的增加，该地区的蒸散量也会持续上升，现有研究表明该地区的气温上升趋势显著高于降水<sup>[33]</sup>，这将导致该地区趋于暖干化。同时，气温升高导致大量的冰川消融以及造成的气象灾害均将对植物的生长造成较大的影响，进而抑制植物的生长<sup>[34]</sup>。在未来气候模式分析下，大熊猫的适宜栖息地也将会减少，破碎化更加严重<sup>[35–36]</sup>，造成这一现象的原因可能是四川省常发的地震、泥石流等灾害，使得自然环境发生变化，从而影响片区内大部分植物生长和大熊猫的部分隔离。

其他 3 个园区均属于高植被覆盖区，NDVI 值可能会达到饱和，且东北虎豹国家公园处于我国东北地区的沿海地区，有研究指出该区域未来极端气温事件将会持续增加，极端高温指数的增加对沿海地区西部的植物生长起抑制作用，可能与极端高温增加、降水缺乏导致植物生长受到影响<sup>[37]</sup>。同时，未来夏季较高的气温可能导致树木受到高温胁迫而导致死亡率上升。位于海南岛的海南热带雨林国家公园很容易受热带气旋的影响，植被覆盖在拉尼娜年明显好于厄尔尼诺年。在厄尔尼诺年间降水的减少和气温的偏高会导致土壤趋于干化<sup>[38]</sup>，从而影响植物的光合作用，对其生长起到一定的抑制作用。若未来极端天气事件不断出现，则会令植物生长遭受更大的危险。此外，植被的增加并不代表植被的健康，虽然武夷山国家公园

的植被增加趋势在景区和过渡区得到了明显改善,但是其森林脆弱性却明显低于保护区,人类活动的加剧增强了植被的脆弱性<sup>[23]</sup>。然而,在未来如果有极端天气灾害的出现,那么植被也会面临更大的退化风险。同时,也需要科学制定游客管理措施,减少人为活动的影响。

## 5 展望

为了更好地对我国国家公园的生态环境进行建设,基于以上对园区内植物生长状况的分析,本文对未来园区的保护发展提出以下建议:

1) 研究结果表明,我国5个国家公园在近21年的植被得到明显改善,间接地反映了我国在5个国家公园正式设立前后所实行的自然保护区管理制度和国家公园试点方案的可行性,并取得了明显成效。这说明了生态保护工程需要长期付出努力,在未来要以《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》为引导,完善管理机制,进一步落实自然保护地的建设。

2) 在未来园区的生态保护中,必须充分考虑气候变化的影响。加强对气象站点的监测,掌握园区气候变化趋势,针对不同自然条件的园区采取相应措施,保证园区内良好的水热供应。

3) 加强生态环境保护设施建设,增强各园区抵御恶劣天气以及极端气候的能力,确保国家公园的生态系统可以更好地适应全球气候变化。

4) 气候变化影响植物的生长,进而对园区内的明星物种产生影响。未来要加强对各物种的监测,必要时要进行野外实勘评估,并制定具体保护方案。

5) 可以有效地利用现有的遥感监测技术加强园区的生态环境修复,在园区内适当开展人类生产与生活基础设施建设,加强科教宣讲,提升游客保护环境意识,以此促进人与自然的和谐共生,提升我国国家公园的管理能力,真正实现国家公园保护建设的目的。

在未来研究中,可以使用更高分辨率的表征植被状况的数据,从而得到更精确可靠的结论。

同时,可加入人类活动要素,分离气候变化和人类活动的影响,进一步探讨植被覆盖变化的原因。利用相关物种分布模型分析园区典型生物的变化特征,完善国家公园生态环境评价要素。基于此,未来研究可以加入更多的评价指标,以帮助国家公园建立更为完善的管理体系,可以更加准确地评估整个国家公园的生态质量。

## 参考文献:

- [1] 樊星,秦圆圆,高翔. IPCC第六次评估报告第一工作组报告主要结论解读及建议[J]. 环境保护, 2021, 49(增刊2): 44-48.
- [2] 刘宪锋,朱秀芳,潘耀忠,等. 1982—2012年中国植被覆盖时空变化特征[J]. 生态学报, 2015, 35(16): 5331-5342.
- [3] 孙红雨,王长耀,牛铮,等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系: 基于NOAA时间序列数据分析[J]. 遥感学报, 1998, 2(3): 204-210.
- [4] 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.
- [5] 王晓雅,凌子燕,陈研,等. 秦岭中部自然保护区植被生长状况遥感监测[J]. 自然保护地, 2022, 2(02): 48-59.
- [6] 李苗苗. 植被覆盖度的遥感估算方法研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院(遥感应用研究所), 2003.
- [7] Lagomasino D, Price R M, Whitman D, et al. Spatial and Temporal Variability in Spectral-Based Surface Energy Evapotranspiration Measured from Landsat 5 TM across Two Mangrove Ecotones[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2015, 213: 304-316.
- [8] Hao J, Xu G Y, Luo L, et al. Quantifying the Relative Contribution of Natural and Human Factors to Vegetation Coverage Variation in Coastal Wetlands in China[J]. *CATENA*, 2020, 188(2): 104429.
- [9] Tucker C J, Slayback D A, Pinzon J E, et al. Higher Northern Latitude Normalized Difference Vegetation Index and Growing Season Trends from 1982 to 1999[J]. *International Journal of Biometeorology*, 2001, 45(4): 184-190.
- [10] Piao S L, Wang X H, Ciais P, et al. Changes in Satellite-Derived Vegetation Growth Trend in Temperate and Boreal Eurasia from 1982 to 2006[J]. *Global Change Biology*, 2011, 17(10): 3228-3239.
- [11] 张学珍,戴君虎,葛全胜. 1982—2006年中国东部春季植被变化的区域差异[J]. 地理学报, 2012, 67(1): 53-61.
- [12] 刘宪锋,任志远. 西北地区植被覆盖变化及其与气候因子的关系[J]. *中国农业科学*, 2012, 45(10): 1954-1963.

- [13] 张含玉, 方怒放, 史志华. 黄土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, 2016, 36(13): 3960–3968.
- [14] 陈超男, 朱连奇, 田莉, 等. 秦巴山区植被覆盖变化及气候因子驱动分析[J]. 生态学报, 2019, 39(9): 3257–3266.
- [15] 杨锐. 论中国国家公园体制建设中的九对关系[J]. 中国园林, 2014, 30(8): 5–8.
- [16] 任引. 武夷山主要类型常绿阔叶林结构与功能特征的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2008.
- [17] 蔡博峰, 于嵘. 基于遥感的植被长时序趋势特征研究进展及评价[J]. 遥感学报, 2009, 13(6): 1170–1186.
- [18] 袁丽华, 蒋卫国, 申文明, 等. 2000—2010年黄河流域植被覆盖的时空变化[J]. 生态学报, 2013, 33(24): 7798–7806.
- [19] 侯建荣, 宋国乡. 小波分析在Hurst指数估值中的应用[J]. 西安电子科技大学学报, 2002, 29(1): 115–118.
- [20] Zhang G L, Xu X L, Zhou C P, et al. Responses of Grassland Vegetation to Climatic Variations on Different Temporal Scales in Hulun Buir Grassland in the Past 30 Years[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2011, 21(4): 634–650.
- [21] 苏小艺, 陈克龙. 2005—2015年三江源国家公园植被覆盖度动态变化研究[J]. 青海草业, 2019, 28(1): 20–23.
- [22] 俞胜宾, 翟盘茂, 张强. 1961—2004海南岛干旱演变特征分析[J]. 热带作物学报, 2006, 27(3): 111–115.
- [23] 金保明. 南平市2003、2004年旱情及思考[J]. 水利科技, 2005(3): 1–2.
- [24] 彭文甫, 张冬梅, 罗艳玫, 等. 自然因子对四川植被NDVI变化的地理探测[J]. 地理学报, 2019, 74(9): 1758–1776.
- [25] 黄豪奔, 徐海量, 林涛, 等. 2001—2020年新疆阿勒泰地区归一化植被指数时空变化特征及其对气候变化的响应[J]. 生态学报, 2022, 42(7): 2798–2809.
- [26] 李丽纯, 周广胜. 武夷山国家公园森林植被对景区活动的响应[J]. 生态学报, 2020, 40(20): 7267–7276.
- [27] 宋怡, 马明国. 基于GIMMS AVHRR NDVI数据的中国寒旱区植被动态及其与气候因子的关系[J]. 遥感学报, 2008, 12(3): 499–505.
- [28] 袁沫汐, 邹玲, 林爱文, 等. 湖北省地区植被覆盖变化及其对气候因子的响应[J]. 生态学报, 2016, 36(17): 5315–5323.
- [29] 刘宁, 彭守璋, 陈云明. 气候因子对青藏高原植被生长的时间效应[J]. 植物生态学报, 2022, 46(1): 18–26.
- [30] 彭凯锋, 蒋卫国, 侯鹏, 等. 三江源国家公园植被时空变化及其影响因子[J]. 生态学杂志, 2020, 39(10): 3388–3396.
- [31] 林森, 胡喜生, 吴承祯, 等. 武夷山国家公园植被覆盖演变的时空特征[J]. 森林与环境学报, 2020, 40(4): 347–355.
- [32] 姜龙, 董鑫, 古晓东. 四川省大熊猫国家公园植被覆盖度时空变化分析[J]. 四川环境, 2021, 40(4): 191–198.
- [33] 刘宪锋, 任志远, 林志慧, 等. 2000—2011年三江源区植被覆盖时空变化特征[J]. 地理学报, 2013, 68(7): 897–908.
- [34] 吴晓全. 气候变化对三江源地区生态景观格局的影响及其模拟[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2018.
- [35] 刘兴明, 常亚鹏, 赵传燕, 等. 白水江国家级自然保护区未来气候变化分析[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2021, 57(4): 537–543.
- [36] 刘艳萍. 气候变化对岷山大熊猫及栖息地的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- [37] 王晓利. 中国沿海极端气候变化及其对NDVI的影响特征研究[D]. 山东烟台: 中国科学院烟台海岸带研究所, 2017.
- [38] 赵安周, 刘宪锋, 朱秀芳, 等. 2000—2014年黄土高原植被覆盖时空变化特征及其归因[J]. 中国环境科学, 2016, 36(5): 1568–1578.



# The Spatial-Temporal Variation Characteristics of Vegetation Coverage in Five National Parks from 2000 to 2020

ZHANG Xiaoying<sup>1,2</sup> HE Yi<sup>1,2\*</sup> ZHAO Lei<sup>1,2</sup>

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, China;

2. Shaanxi Key Laboratory of Earth Surface System and Environmental Carrying Capacity, Xi'an 710127, China)

**Abstract:** 【 Objectives 】 To clarify the characteristics of vegetation coverage variation in five national parks from 2000 to 2020 and investigate how climate affects vegetation coverage. 【 Methods 】 Based on MODIS-NDVI data, trend analysis and Hurst index were used to analyze the spatial-temporal variation characteristics and future change trend of vegetation in five national parks from 2000 to 2020. Temperature and precipitation were taken as influence factors to explore the relationship between vegetation coverage changes and meteorological factors by partial correlation analysis. 【 Results 】 From 2000 to 2020, the vegetation coverage showed a fluctuating upward trend in all parks, with the fastest growth rate in National Park of Hainan Tropical Rainforest and the slowest growth rate in Giant Panda National Park. From 2000 to 2020, the vegetation coverage in five parks has mainly improved. In addition, the improved area accounted for more than 70% of the area of each park. The anti-persistence of vegetation changes in five parks has been stronger than persistence in the future, and the change types were mainly from increasing to decreasing, among which the decreasing trend was the most significant in Northeast China Tiger and Leopard National Park. The variations of vegetation coverage in Three-River-Source and Giant Panda National Park were strongly correlated with precipitation at the interannual level. However, the changes in vegetation coverage in additional parks were mainly affected by temperature. The vegetation growth in Three-River-Source National Park, Giant Panda National Park, Northeast China Tiger and Leopard National Park, National Park of Hainan Tropical Rainforest, and Wuyishan National Park had a time lag, with a lag of zero, one, zero, and two months on temperature. For precipitation, only National Park of Hainan Tropical Rainforest showed a lag of one month, while the rest of the parks showed an insignificant lag effect. 【 Conclusions 】 The vegetation of five national parks has been improved in the last 21 years, showing different spatial and temporal variation characteristics influenced by temperature and precipitation. However, the future vegetation changes showed a strong anti-persistence which needs to be paid more attention to.

**Keywords:** National Parks; vegetation coverage; trend analysis; Hurst index; climate factors; lag