

长株潭城市群植被指数动态变化 及城市扩展对其影响分析

胡顺石^{1, 2} 彭雨龙¹ 秦建新^{1, 2} 谭子芳¹¹

(1. 湖南师范大学 资源与环境科学学院, 中国湖南 长沙 410081;

2. 湖南师范大学 地理空间大数据挖掘与应用湖南省重点实验室,

中国湖南 长沙 410081)

【摘要】: 快速城市化进程使得地表覆被发生显著变化,极大地改变了原始植被生长环境。文章采用MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)植被指数产品、MDSP-OLS(Defense Meteorological Satellite Program Operational Linescan System)城市夜间灯光时间序列等数据,利用趋势分析等方法,分析了长株潭城市群植被生长时空动态变化特征、城市群扩张对植被动态变化的影响。研究结果表明:2001—2017年,研究区植被覆盖情况良好,NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)多年平均值在0.4~0.6之间,整体上植被生长向良好态势发展;研究区NDVI呈缓慢上升趋势,并具有两个明显阶段:2001—2009年呈波动上升趋势,2010—2017年呈显著线性上升趋势;受城市群扩张影响,长沙、株洲、湘潭3个城市周边区域NDVI变化呈显著下降趋势,但下降速率较为缓慢;MDSPOLS城市夜间灯光序列数据变化趋势可有效指示长株潭城市群城市扩张过程;长株潭城市群在城市扩张过程中城市绿化、生态环境得到较好的保护和发展,87.46%城市扩张区域NDVI保持较低水平的显著性上升趋势,仅有7.13%城市扩张区域NDVI呈显著性下降趋势。

【关键词】: 植被指数 长株潭城市群 城市扩张 夜间灯光数据 绿地系统

【中图分类号】: TU985.12 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1000-8462(2019)12-0178-09

近年来,我国城市化进程加速,城市周边土地利用/覆被在城市不断扩张过程中发生了显著变化,对区域资源环境、气候、生物多样性等产生深远影响,同时还引发了环境污染、资源短缺、湿地锐减、生态恶化等严重问题。长株潭城市群是我国区域一体化发展、“两型”社会建设、创新驱动发展的重要试验场^[1],其城市化扩张及生态环境建设受到广泛关注^[1,2,3,4]。2001—2017年,长株潭城市群城市发展迅速,城市规模不断扩大,建成区面积从280.4km²增加到669.17km²,常住人口从1239.66万人增加到1479.20万人,GDP从1288.98亿元增加到14745.39亿元,城镇化水平从41.44%增加到71.34%;长株潭城市群在生态建设一体化及城市群绿心协同保护等方面也取得了阶段性成果^[1]。

作者简介: 胡顺石(1984-),男,湖南永州人,博士,讲师。主要研究方向为资源环境遥感与灾害遥感、遥感大数据应用。

E-mail:shunshi.hu@hunnu.edu.cn。秦建新(1969-),男,湖南永州人,博士,教授,博士生导师。主要研究方向为地理空间大数据挖掘与应用。E-mail:qinjianxin@hunnu.edu.cn。

基金项目: 湖南省自然科学基金项目(2018JJ3348);湖南省教育厅科学研究项目(17C0952);中国国家留学基金项目(201806725009);湖南省地理学一流学科建设项目。

生态环境保护与发展是长株潭城市群建设的重要内容之一，研究城市群内部及建成区植被动态变化对城市群建设及生态环境监测具有重要指导意义。目前，关于长株潭城市群的生态环境方面研究，主要集中在生态安全评价^[5]、土地生态安全^[6,7]、湿地生态安全^[4]、景观格局及变化特征^[2]、绿心生态保护与发展^[8,9,10]等方面，但关于长株潭城市群及建成区植被生长动态变化研究相对较少。随着社会经济发展和产业结构转型，人们对建设良好生态环境，发展绿色经济以及建设“两型”社会极为重视，未来长株潭城市群生态环境保护与发展任重道远，面临着城市群“绿心”生态保护与经济协调发展的双重挑战。

MODIS 归一化植被指数 NDVI 产品可以有效地反映区域生态环境变化^[11,12,13,14]；美国军事气象卫星夜间灯光数据 DMSP-OLS 可用于城市动态扩张、城市建成区提取、城市化水平估算等^[15,16]。本研究基于 MODIS 长时间序列 NDVI 产品研究长株潭城市群植被生长时空动态变化特征，同时结合 DMSP-OLS 数据探索长株潭城市群城市扩张变化趋势，结合两者变化特征，探讨长株潭城市群城市扩张过程和植被动态变化特征，旨在为该区域生态环境发展与保护提供决策依据。

1 研究区概况

不同学者从不同角度对长株潭城市群范围界定进行了研究，但关于长株潭城市群范围界定的视角、方法、结论尚未达成共识^[1]。本文从一般学术研究角度，将长株潭城市群范围界定为长沙、株洲、湘潭 3 个地级市所辖所区、县、市。该区域总面积为 2.8 万 km²，占全省面积 13.3%，2017 年常住人口 1479.2 万，GDP 为 14745.39 亿元，分别占全省的 21.6%和 42.3%。可见，长株潭城市群对城市人口聚集效应对湖南省整体经济社会发展推动作用十分明显。

该区域地形地貌以低山丘陵和冲积平原为主，东部为罗霄山，南部直抵衡山，中西部以丘陵为主。土地利用覆被类型以林地为主，占区域总面积 60%，森林植被类型以热带及亚热带树种为主，包括马尾松、杉木、楠竹等；耕地面积次之，占区域总面积 32%^[17]。长株潭城市群建成区内内部绿地系统多以灌草木为主，林地主要集中分布在城市周边地区。

2 数据与方法

2.1 研究数据

2.1.1 MODIS 植被指数及土地覆盖分类产品

本文选择 MODIS 版 MOD13Q1NDVI 植被指数产品^[18]研究长株潭城市群植被生长动态变化情况，它不但消除了传感器性能衰减影响^[19]，还在植被指数产品集成算法等方面进行了改进，产品数据质量更高^[20]。MOD13Q1 植被指数产品为 16 天合成，每年 23 期，空间分辨率为 250m。另外，MODIS 土地覆盖分类产品 MCD12Q1^[21]被用于提取长株潭城市群植被覆盖区域。MCD12Q1 产品为每年一景，空间分辨率为 500m。本文采用国际地圈生物圈计划（International Geosphere-Biosphere Programme, IGBP）分类指标体系得到的分类结果。采用 AppEEARS(Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples) 工具 (<https://lpdaacsvc.cr.usgs.gov/appeears/>) 下载长株潭城市群 2001—2017 年 MOD13Q1 产品和 MCD12Q1 产品。

2.1.2 DMSP-OLS 夜间灯光数据

2000—2013 年 DMSP-OLS 夜间灯光数据被用于分析长株潭城市群城市扩张过程。这些数据产品来自 F152000—2007、F162008—2009、F182010—2013 三颗不同卫星，一般于当地时间晚上 9~10 点获取，并已消除了云、噪声及其他其他偶然因素，其空间分辨率为 30 弧度（约 1km）。该数据产品可在网站 (<https://www.ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/downloadV4composites.html#AVSLCFC>) 免费获取。

2.1.3 统计年鉴数据

查阅湖南省统计年鉴数据, 获得 2000—2017 年长株潭城市群建成区面积和绿化数据, 分析城市群扩张与绿化建设关系。本文将长沙市、浏阳市两城市的建成区面积 (绿化面积) 作为长沙市总的建成区面积 (绿化面积), 同时将株洲市、醴陵市两城市的数据作为株洲市总的统计数据; 将湘潭市、韶山市和湘乡市 3 个城市的数据作为湘潭市总的统计数据。

2.2 数据预处理

通过 AppEEARS 工具下载的影像均以 WGS84 地理坐标、tif 格式进行存储, 并已经过重投影。为了方便后续分析, 将 MCD12Q1 数据、DMSP-OLS 数据空间分辨率统一重采样至 250m。

2.2.1 NDVI 时间序列重构

假设植被 NDVI 时间序列随其生长和衰退进行周期性缓慢变化, 云、冰雪以及不良大气条件等会产生噪声现象。由于长株潭城市群区域受云、云混合噪声影响较为严重^[22], 本研究采用文献^[23]提出的 IAW-SG 滤波方法消除原始 NDVI 时间序列中存在的云噪声, 提高序列数据质量。该方法在消除云噪声的同时, 还可以保持原始时间序列数据时间分辨率不变, 具有较好的效果。

2.2.2 土地覆盖重分类

本研究根据文献^[24]提到的方法对长株潭城市群 IGBP 分类结果进行类别合并, 最终得到水体、常绿林、落叶林、城市等 9 个类别, 用于提取长株潭城市群植被区域。

2.2.3 夜间灯光数据年际校正

因为 2000—2013 年长株潭城市群 DMSP-OLS 夜间灯光数据来自不同传感器, 灯光亮度数据容易产生过饱和效应^[25, 26], 且不同传感器还存在一定的性能衰减现象, 所以长时间序列夜间灯光数据需要进行年际校正^[25, 26]以增加序列间的可比性。本文采用二次多项式模型^[25]对其进行年际校正。

2.3 研究方法

本文采用 slope 趋势分析法^[27]、Mann-Kendall(MK) 变化趋势显著性检验法^[14]及 DBEST(Detecting Breakpoints and Estimating Segments in Trend) 模型^[28]研究长株潭城市群植被生长时空动态变化特征。

2.3.1 研究技术路线

本研究总体技术路线如图 1 所示。首先, 采用 2.2 节中的方法对 DMSP-OLS 夜间灯光序列数据、NDVI 时间序列数据、MCD12Q1 数据进行预处理; 然后, 分别采用 2.3.2~2.3.4 节中的方法对 NDVI 时间序列数据、夜间灯光序列数据进行分析, 得到植被 NDVI 时空动态变化特征, 夜间灯光变化趋势空间分布特征; 最后, 综合统计年鉴数据、城市夜间灯光和植被 NDVI 变化趋势数据, 分析长株潭城市群扩张对植被生长的影响。

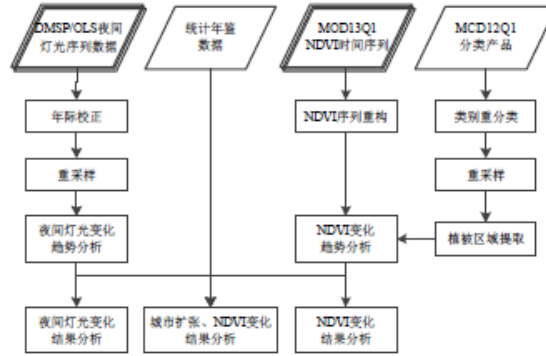


图 1 技术路线图

2.3.2 slope 趋势线分析

slope 趋势线分析法^[27]可以得到植被区域每个像素组成的 NDVI 时间序列变化趋势，并反映植被空间变化分布特征。如果 $\text{slope} > 0$ ，则表示植被在监测期间内呈上升趋势，植被变得更“绿”，植被生态势良好；反之，则表示植被生长呈下降趋势，植被生长遭到破坏，植被退化。

2.3.3 变化趋势显著性检验

MK 检验是一种非参数统计检验方法，它无需样本服从一定的分布，不受序列中异常值的干扰，可用于 NDVI 时间序列变化趋势的显著性判断^[14]。MK 检验过程^[14]为：首先，计算序列相邻元素的差值，获得差值序列 S ；然后，利用序列 S 计算表示变化趋势的统计量 Z ；最后，对变化趋势统计量 Z 进行双边显著性检验，得到 p -value 值，如果 $p\text{-value} < 0.05$ ，则认为变化趋势显著；否则，变化趋势不显著。本研究结合 slope 趋势线分析法，对于 NDVI 时间序列进行变化趋势显著性检验分析，如果 $\text{slope} > 0$ 且 $Z > 0$, $p\text{-value} < 0.05$ ，则认为其存在显著上升趋势；如果 $\text{slope} < 0$ 且 $Z < 0$, $p\text{-value} < 0.05$ ，则认为其存在显著下降变化趋势。

2.3.4 DBEST 模型

本文利用 DBEST 模型^[28]对长株潭城市群多年平均 NDVI 进行趋势变化分析。它由趋势提取、趋势分割与建模两部分组成，前者通过设置参数获取水平变化点（level-shift-point）并对序列进行 STL(Seasonal and Trenddecomposition using Loess) 时间序列分解以获得序列变化趋势；后者通过对趋势进行分割，实现断点变化检测和趋势建模，并最终输出断点检测和趋势提取结果。NDVI 时间序列经由 DBEST 模型分解后，可得到趋势项（Trend）、季节项（Seasonality）和残余项（Remainder）三部分，其中趋势项表示植被生长整体变化趋势，季节项表示植被生长受季节性气候变化而呈现出的季节性波动现象；残余项表示植被生长过程中由于受到随机性或偶然性变化因素影响而呈现出的不规则变化现象，如干旱、气温、病虫害等。

DBEST 模型可由两种模式运行，即整体变化趋势提取模式和变化趋势检测模式，前者输出 NDVI 序列的趋势项、分割数量、结果统计参数等；后者输出 NDVI 序列变化类型（缓慢变化或急剧突变）、变化起止时间、变化持续时长、变化强度等变化检测结果。本文分别采用 DBEST 两种运行模式对长株潭城市群植被区域多年平均 NDVI 序列进行分析，各项参数设置为： θ_1 , θ_2 分别设置为 0.1 和 0.2； ϕ 设置为 46，表示 2 年内如果 NDVI 变化值超过 0.2，则认为其是急剧突变；置信水平 $\alpha = 0.05$ 。

3 结果与分析

3.1 植被指数空间分布特征

利用 2001—2017 年 NDVI 时间序列数据，计算得到整个长株潭城市群植被覆盖区域平均 NDVI 空间分布（图 2）。从图 2 可以看出，整体上来说，长株潭城市群植被覆盖情况良好，城市周边地区 NDVI 值均在 0.4~0.6 之间；其他区域，如浏阳市、醴陵市北部、攸县、茶陵县、炎陵县等地，地处罗霄—幕阜山脉处，森林覆盖率高，植被广泛分布，属于高植被覆盖区，NDVI 多年平均值高达 0.7 以上。

长株潭城市群 2001—2017 年平均 NDVI 值重分类统计结果（图 3）表明整个区域植被覆盖良好：多年平均 NDVI 值以中高值（ $0.5 < \text{NDVI} < 0.7$ ）为主，约占总区域面积 61.48%；以罗霄—幕阜山脉为主的高山森林区 NDVI 值（ $\text{NDVI} > 0.7$ ）占比为 18.83%； $\text{NDVI} < 0.4$ 、 $0.4 < \text{NDVI} < 0.5$ 的相对低植被覆盖区面积占比较小，分别为 1.76%、14.37%； $\text{NDVI} > 0.5$ 以上的区域占整个区域面积比例为 80.30%。

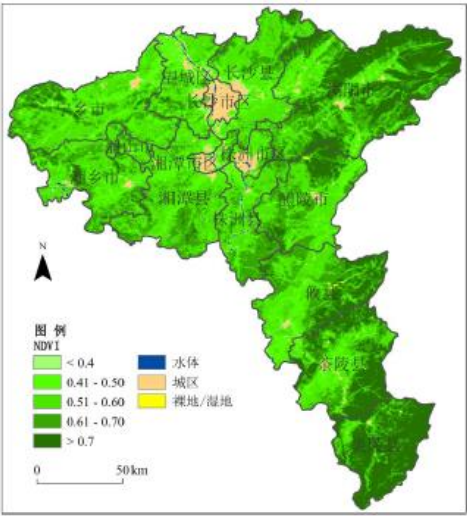


图 2 长株潭城市群 2001—2017 年平均 NDVI 空间分布

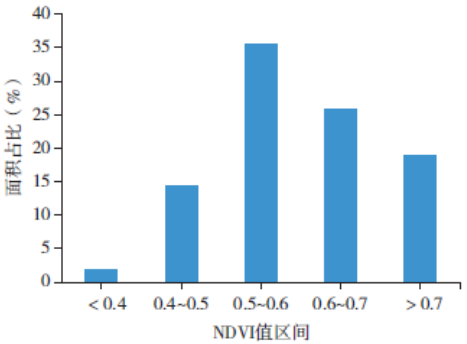


图 3 长株潭城市群 2001—2017 年平均 NDVI 重分类统计

3.2 植被指数时间变化特征

根据 2001—2017 年长株潭城市群 IGBP 地物分类结果，剔除水体、城区、裸地/湿地类型，获得仅剩植被覆盖的区域，然后求取植被覆盖区域的平均 NDVI 时间序列，最后采用 DBEST 模型获取长株潭城市群平均植被覆盖年际变化特征，结果如图 4 所示。图 4a 是 NDVI 序列整体变化趋势提取结果，从图中可以看出长株潭城市群植被覆盖 NDVI 值在 0.4~0.8 之间波动，且具有非常

明显物候周期特征；趋势项、季节项及残差项表明该区域平均植被覆盖年际变化具有明显的周期性变化特征，植被生长具有较为明显的缓慢上升趋势。

图 4b 是长株潭城市群 2001—2017 年平均 ND-VI 时间序列趋势变化检测结果，红色点表示发生缓慢变化的点及其对应时间。从图 4b 可以看出，2001—2017 年长株潭城市群 NDVI 值呈缓慢上升趋势，具有较强的线性变化特征，线性模型拟合 R^2 为 0.82, P 检验值为 0，上升趋势具有显著性。同时，这一上升趋势又可以分成 2001—2009、2010—2017 年两个明显阶段。2001—2009 年长株潭城市群平均 NDVI 呈波动性上升趋势，其线性拟合结果 R^2 为 0.54; NDVI 值在 2003、2005、2007、2008 年分别经历了呈明显下降和上升过程，这是因为 2003、2005、2007 年湖南省发生了全省性严重干旱^[29]，在干旱胁迫下，植被生长受阻，NDVI 呈明显下降趋势。特别地，2007 年全省性的干旱灾害与 2008 年初发生的全国范围南方低温雨雪冰冻灾害对植被生长造成了较为严重的损害。2010—2017 年 NDVI 呈更加明显的线性上涨趋势，线性拟合 R^2 为 0.96，线性关系十分显著，但 2013 年发生干旱灾害使得 NDVI 值出现了较为明显的短暂性下降趋势。由此可以看出，尽管长株潭城市群植被覆盖情况良好，年平均 ND-VI 值较高，但其非常容易受到气候变化和自然灾害的影响，植被 NDVI 值会出现显著的波动性变化现象；同时，因为该区域处于典型亚热带季风气候区，降水较为充沛，温度较适宜，植被生长整体趋势也会在较短时间内得以迅速恢复。

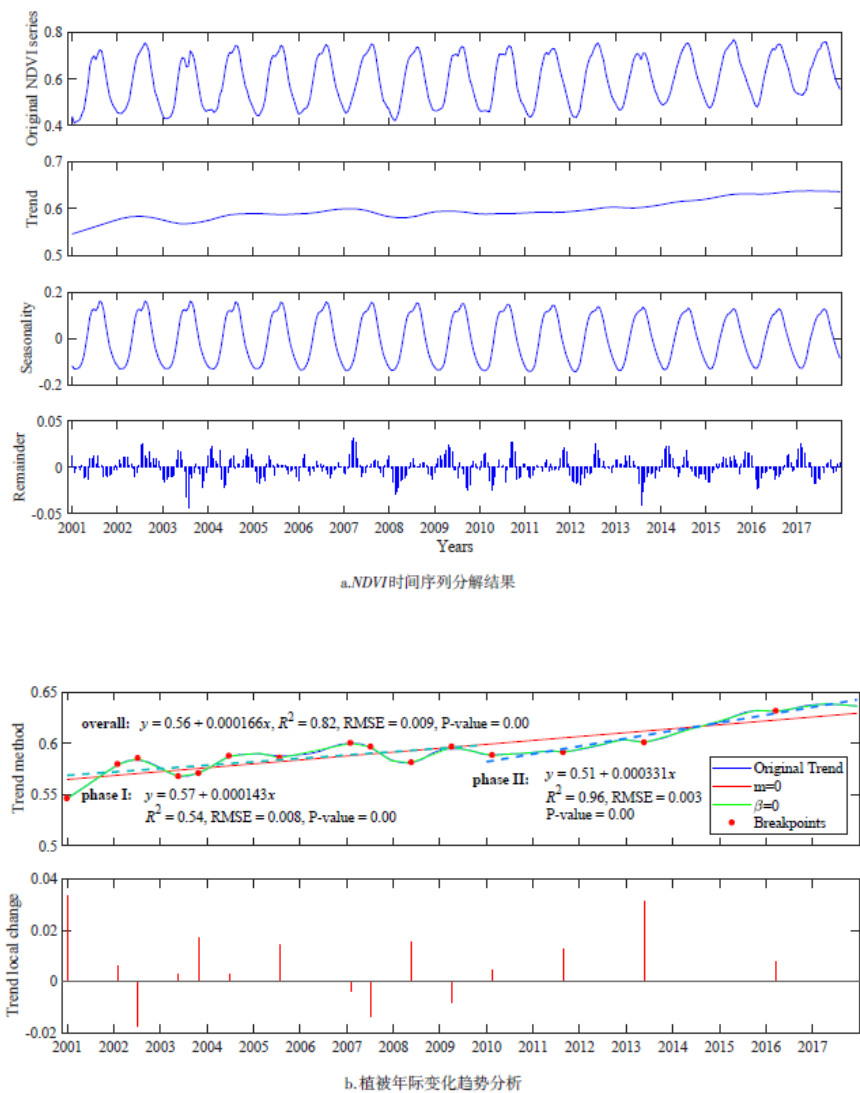


图 4 2001—2017 年长株潭城市群 NDVI 时间序列趋势分析

3.3 植被指数变化趋势分析

计算 2001—2017 年长株潭城市群植被 NDVI 时间序列 slope 值, 并进行 $\alpha=0.05$ 显著性检验, 得到植被 NDVI 变化趋势空间分布特征, 结果如图 5。从图 5 可以看出, $\text{slope}>0$ 且通过显著性检验的区域占绝大多数, 表明植被生长处于“上升”过程, 植被变得更“绿”, 植被生长向更加良好态势发展。长沙、株洲、湘潭 3 个城市周边地区的植被 NDVI 序列 $\text{slope}<0$, 植被指数呈显著下降趋势; 在浏阳市、宁乡市、湘乡市等城市周边地区也出现了植被指数呈下降趋势的区域, 这表明这些区域在城市扩张过程中植被生长环境遭到一定程度破坏, 植被在逐渐退化。植被指数变化不显著区域主要分布在望城区、长沙县、浏阳市、宁乡市、湘潭县、攸县等地。在这些植被指数变化不显著的区域中, 75.43%区域的植被指数 $\text{slope}>0$, 24.57%区域的植被指数 $\text{slope}\leq 0$, 这表明这些区域植被整体向良好态势发展, 但易受城市开发、人类活动等影响, 且需要密切关注植被指数下降区域, 防止植被生长趋势退化。

为了更进一步揭示长株潭城市群植被指数变化趋势, 分别统计植被指数显著变化区域的 slope 值, 结果见表 1。从表 1 可以看出, 整个长株潭城市群植被指数变化趋势 slope 值非常小; 植被指数呈显著下降的区域占整个区域 4.17%, 呈显著上升趋势的区域占整个区域 76.81%, 其中, slope 值范围在 0.0001~0.0003 较为普遍, 占 57.99%。综合图 4、图 5 和表 1 可以看出, 尽管长株潭城市群植被指数在 2001—2017 年整体呈显著上升趋势, 但其上升趋势 slope 值较小, 上升幅度值较小, 整个区域所有植被区域的 NDVI 上升或下降趋势斜率 slope 值也都非常小, 而且通过图 4bNDVI 变化趋势的变化检测结果可知, 该区域植被生长状况对干旱或恶劣气候非常敏感, NDVI 变化趋势非常容易受到此影响而下降。

3.4 城市扩张及夜间灯光变化趋势分析

对年际校正后的 DMSP-OLS 数据进行处理, 剔除全年 $\text{DN}<10$ 的区域, 采用 slope 趋势法分析长株潭城市群城市夜间灯光变化情况, 并进行 $\alpha=0.05$ 显著性检验, 结果如图 6 所示。图 6 中 slope 值为 0 的区域表示 2000—2013 年城市夜间灯光亮度已基本达到饱和, 其亮度变化趋势为 0。如果视 $\text{slope}=0$ 的区域为城市区域, 对比图 6 与图 2, 可以发现城市夜间灯光数据比 MODIS 分类产品更能有效地识别城市边界范围^[15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26]。2000—2013 年, 长株潭城市群城市呈显著性“变亮”的区域主要分布在长沙、株洲和湘潭城区周边地区, 其中, 又以望城区及其与宁乡市接壤处最为明显, slope 值 >3 ; 其他区域, 如长沙县与株洲市区接壤处、长沙县与浏阳市接壤处、湘潭市区与韶山市接壤处、浏阳市与醴陵市接壤处也十分明显, 其增长 slope 值为 2~3, 部分区域大于 3; 攸县、茶陵县、炎陵县城市“变亮”区域主要以县城为中心呈环状分布。长株潭城市群夜间灯光数据趋势分析结果显示: 长株潭 3 个城市周边区域显著“变亮”, 变亮区域面积急剧增加, 且呈成片连接趋势, 城市间联系更加紧密, 这也说明在政府发展战略和政策引导下, 长株潭城市群在城市一体化建设方面取得了阶段性成果^[1]。

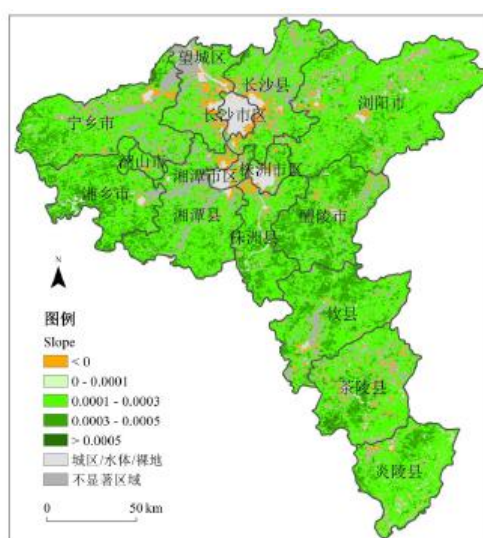


图 5 2001—2017 年长株潭城市群 NDVI 变化趋势

表 1 NDVI 显著变化区域 slope 值统计

Slope 值	面积占比 (%)	Slope 值	面积占比 (%)
<-0.0004	1.20	0.0002-0.0003	34.19
-0.0004-0	2.97	0.0003-0.0004	15.10
0-0.0001	1.21	0.0004-0.0005	2.20
0.0001-0.0002	23.80	>0.0005	0.32

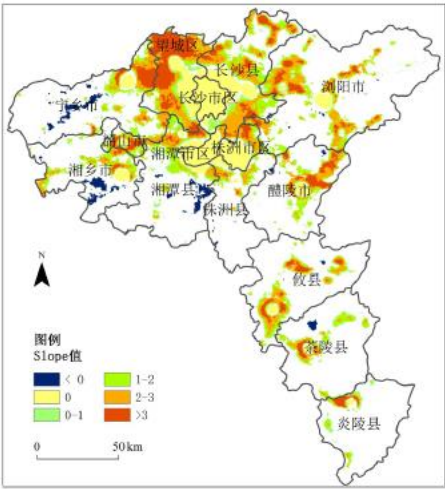


图 6 2000—2013 年长株潭夜间灯光变化趋势空间分布

3.5 城市扩张对植被指数变化影响

将长株潭城市群植被指数发生显著变化的区域与城市夜间灯光数据发生显著变化的区域进行叠加分析，揭示长株潭城市群扩张区域植被指数变化情况，得到结果如图 7 所示。根据植被指数和夜间灯光变化趋势值，将叠加区域分成四个区域：I 区表示在城市化过程中，城市绿化建设在一定程度上弥补了城市化过程中对植被的破坏，植被指数变化呈显著增加趋势，植被区域绿化效果较好；II 区表示逆城市化过程中，植被得到有效恢复，植被指数变化趋势显著增加；III 区表示逆城市化过程中，植被遭到破坏，植被指数变化呈显著下降趋势；IV 区表示在城市化过程中，土地利用性质发生改变，原来植被生长区域变成城市用地，植被遭到破坏，植被指数变化呈显著下降趋势。对上述四个区域进行统计分析，结果如图 8 所示。综合图 7、图 8 可以看出，城市夜间灯光数据的增加趋势幅度较植被指数变化趋势剧烈，所有植被变化区域的变化趋势较小。I 区在长、株、潭 3 个城市周边广泛分布，为城市扩张过程中区域植被变化主要情况，其占有显著区域 87.46%，这表明在长株潭城市群建设过程中，城市绿化、生态环境建设工作得到有效实施；城市建成后，植被绿化覆盖较好，城市环境治理和绿心保护等取得较好效果。II 区主要分布在宁乡市中西部、湘乡市西南部、湘潭县东部区域，这些区域均呈零星分布。III 区面积极少，主要以零星形式交叉混合分布在茶陵县、湘潭县和宁乡市 II 区域内。IV 区主要分布在宁乡东部，望城、湘潭、长沙县、浏阳市西部等地，其他地方也存在零星分布，如醴陵市、攸县、茶陵县等地，这些区域主要是由原来植被覆盖区域转变成了工业园区、居住区等，植被覆盖显著降低，但是这部分区域仅占总显著区域的 7.13%。

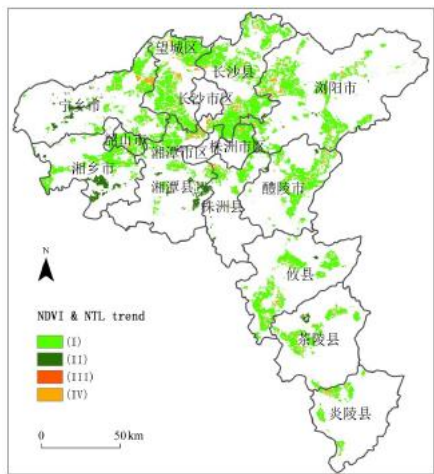


图 7 夜间灯光数据与 NDVI 显著变化区域叠加结果

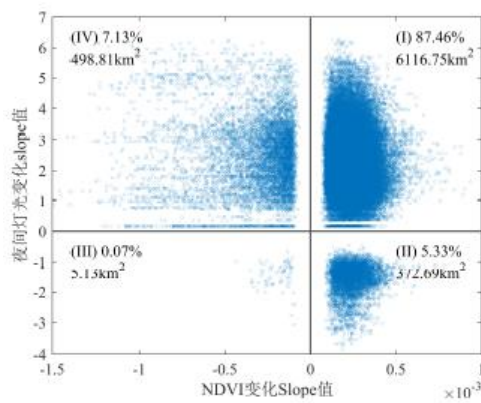


图 8 NDVI 和夜间灯光变化趋势显著区域统计

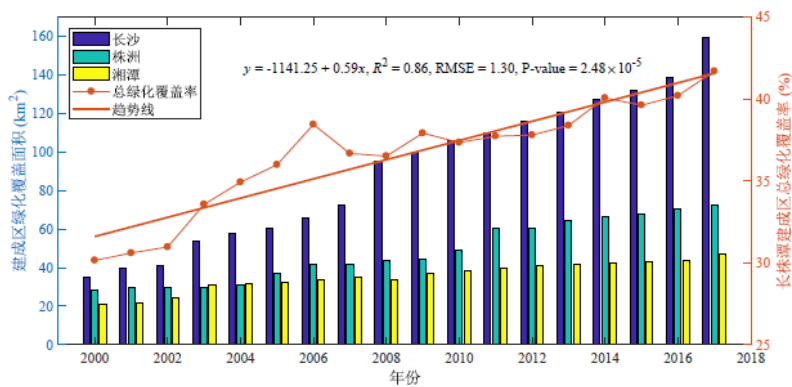


图 9 2000—2017 年长株潭城市群城市绿化面积及建成区总绿化覆盖率变化情况

查阅湖南省 2000—2017 年统计年鉴资料，获取长、株、潭 3 个城市的建成区绿化覆盖面积，并计算长株潭城市群总绿化覆盖率，结果如图 9 所示。从图 9 可以看出，在城市化扩张过程中，长株潭城市群总体植被覆盖情况良好，并呈缓慢增加趋势。

但是也可以看出长株潭 3 个城市建成区绿化覆盖面积不均衡, 绝对面积差异较大, 其中, 长沙市城市绿化覆盖面积占绝对优势, 远超过株洲、湘潭两市, 湘潭市最低; 3 个城市绿化覆盖面积均缓慢增加, 长沙市增加幅度最大, 湘潭市增加幅度最小; 3 个城市总绿化覆盖率(城市绿化覆盖面积占建成区面积的比率)呈较快趋势发展, 从 2000 年 30.15%增加到 2017 年 41.70%, 直线拟合结果显示, 其年平均增长率为 0.59, 模型 R^2 为 0.86, 增长趋势十分显著。

4 结论

本文采用 MODIS 植被指数产品、DMSP-OLS 夜间灯光数据探索长株潭城市群植被生长状态、植被指数变化趋势及在城市化过程中植被动态变化情况, 主要研究结论如下:

(1) 整体上来说, 长株潭城市群植被覆盖情况良好, 城市周边地区植被指数多年平均值在 0.4~0.6 之间; 罗霄—幕阜山高植被覆盖区植被指数多年平均值在 0.7 以上。

(2) 整体上来说, 长株潭城市群植被生长向良好态势发展。2001—2017 年, 长株潭城市群区域植被指数值在 0.4~0.8 之间波动, 并呈显著性缓慢上升趋势, 但上升趋势幅度较小。长株潭城市群植被指数动态变化可以分成两个明显阶段: 2001—2009 年, 受干旱和冰冻雨雪灾害影响, 植被指数呈现波动性上升趋势; 2010—2017 年, 植被指数呈明显的缓慢线性上升趋势。

(3) 长株潭城市群植被指数与城市夜间灯光数据变化趋势分析结果表明: 长株潭城市群扩张过程中城市绿化、生态环境得到较好的保护和发展; 87.46%城市扩张区域的 NDVI 序列保持显著的较低水平上升趋势, 7.13%城市扩张区域的 NDVI 值呈显著下降趋势。

本文只考虑长株潭城市群植被指数时间序列动态变化情况, 但是植被生长状况会受到气候变化、人类活动等影响而发生改变。因此, 今后工作中将进行气候因子(如降水、温度)、季节性干旱等因素对长株潭城市群植被生长的敏感性研究, 进一步深入探索长株潭城市群植被生态环境演变机制。

参考文献:

- [1] 周国华, 陈炉, 唐承丽, 等. 长株潭城市群研究进展与展望[J]. 经济地理, 2018, 38(6): 52-61.
- [2] 吴昊, 王维, 王文杰, 等. 长株潭地区景观格局及其变化特征研究[J]. 地球信息科学学报, 2010, 12(1): 133-142.
- [3] 李涛, 杨知建, 甘德欣, 等. 长株潭城市群土地利用/覆被变化对碳效应的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2016, 32(4): 539-545.
- [4] 廖柳文, 秦建新. 环长株潭城市群湿地生态安全研究[J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(9): 217-226.
- [5] 楚芳芳, 蒋涤非. 基于能值改进生态足迹的长株潭城市群可持续发展研究[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(2): 145-150.
- [6] 许联芳, 谭勇. 长株潭城市群“两型社会”试验区土地承载力评价[J]. 经济地理, 2009, 29(1): 69-73.
- [7] 刘庆, 陈利根, 舒帮荣, 等. 长株潭城市群土地生态安全动态评价研究[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(10): 192-197.

-
- [8]顾朝林, 马婷, 袁晓辉, 等. 长株潭城市群绿心生态保护与发展探讨[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(10):124-131.
- [9]赵运林, 黄田, 李黎武, 等. 基于 GIS 空间分析的生态服务功能重要性评价——以长株潭城市群生态绿心地区为例[J]. 城市发展研究, 2010, 17(11):125-128.
- [10]吕贤军, 赵运林. 长株潭城市群绿心地区规划管理模式探析[J]. 城市发展研究, 2014, 21(6):28-32.
- [11]Fan Xingwang, Liu Yuanbo, Tao Jinmei, et al. MODIS detection of vegetation changes and investigation of causal factors in Poyang Lake basin, China for 2001-2015[J]. Ecological Indicators, 2018, 91:511-522.
- [12]Jamali Sadegh, Seaquist Jonathan, Eklundh Lars, et al. Automated mapping of vegetation trends with polynomials using NDVI imagery over the Sahel[J]. Remote Sensing of Environment, 2014, 141:79-89.
- [13]方利, 王文杰, 蒋卫国, 等. 2000-2015 年黑龙江流域(中国)植被覆盖时空变化及其对气候变化的响应[J]. 地理科学, 2017, 37(11):1745-1754.
- [14]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.
- [15]郝蕊芳, 于德永, 刘宇鹏, 等. DMSP/OLS 灯光数据在城市化监测中的应用[J]. 北京师范大学学报:自然科学版, 2014, 50(4):407-413.
- [16]李德仁, 余涵若, 李熙. 基于夜光遥感影像的“一带一路”沿线国家城市发展时空格局分析[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2017, 42(6):711-720.
- [17]易凤佳, 李仁东, 常变蓉. 基于面向对象的长株潭地区遥感影像分类方法[J]. 华中师范大学学报:自然科学版, 2014, 48(6):910-916.
- [18]Didan K. MOD13Q1 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V006[DB/OL]. [2019-05-15]. <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13q1v006/>.
- [19]Lyapustin A, Wang Y, Xiong X, et al. Scientific impact of MODIS C5 calibration degradation and C6+ improvements[J]. Atmos Meas. Tech, 2014, 7(12):4353-4365.
- [20]Roger J C, Vermote E F, Ray J P. MODIS Surface Reflectance User's Guide, Collection 6, 2015[DB/OL]. https://modis-land.gsfc.nasa.gov/pdf/MOD09_UserGuide_v1.4.pdf.
- [21]Friedl M, Sulla-Menashe D. MCD12Q1 MODIS/Terra+Aqua Land Cover Type Yearly L3 Global 500m SIN Grid V006[DB/OL]. <https://lpdaac.usgs.gov/products/mcd12q1v006/>, 2019-05-15.
- [22]胡顺石, 张辰璐, 彭雨龙, 等. 湖南省不同云状态的时空特征分析[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(5):688-698.
- [23]胡顺石, 黄春晓, 杨斌, 等. 自适应加权 Savitzky-Golay 滤波重构 MODIS 植被指数时间序列[J/OL]. 测绘科学, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4415.P.20191205.1656.020.html>.

-
- [24]Wu Yuzhen, Tang Guoping, Gu Hui, et al. The variation of vegetation greenness and underlying mechanisms in Guangdong province of China during 2001-2013 based on MODIS data[J]. Science of The Total Environment, 2019, 653: 536-546.
- [25]Elvidge Christopher, Sutton Paul, Baugh K E, et al. National Trends in Satellite Observed Lighting:1992-2009[J]. Global Urban Monitoring and Assessment Through Earth Observation, 2014, 23:97-118.
- [26]吴健生, 李双, 张曦文. 中国 DMSP-OLS 长时间序列夜间灯光遥感数据饱和和校正研究[J]. 遥感学报, 2018, 22 (4) :621-632.
- [27]蒋友严, 杜文涛, 黄进, 等. 2000—2015 年祁连山植被变化分析[J]. 冰川冻土, 2017, 39 (5) :1 130-1 136.
- [28]Jamali Sadegh, Jönsson Per, Eklundh Lars, et al. Detecting changes in vegetation trends using time series segmentation[J]. Remote Sensing of Environment, 2015, 156:182-195.
- [29]张剑明, 居晶琳, 黎祖贤, 等. 湖南省农业旱灾的年际变化及重灾年份预测[J]. 自然灾害学报, 2011, 20 (5) :105-110.