

文章编号: 1000-5862(2019)02-0214-07

基于卫星遥感 MODIS 数据反演南昌市 2004—2015 年空气质量变化研究

李永辉^{1 2 3 4} 汪 洋^{3 4 5} 易清传^{1 2} 陈良富^{3 4}

(1. 宜春学院地理科学教研室, 江西 宜春 336000; 2. 宜春学院地理研究中心, 江西 宜春 336000;
3. 中国科学院遥感与数字地球所, 北京 100101; 4. 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101;
5. 福建师范大学地理科学学院, 福建 福州 350117)

摘要: 利用 MODIS 气溶胶光学厚度(AOD)估算了近地面 PM_{2.5} 质量浓度, 统计了 2004—2015 年江西省南昌市 PM_{2.5} 质量浓度的空间分布特征和年、季变化特征. 研究发现: 南昌市中部即中心市区为 PM_{2.5} 高值区, 东部和西部城郊地区为低值区. PM_{2.5} 最高值通常出现在冬季, 秋季次之, 最低值则通常出现在夏季. 2009 年之后南昌市 PM_{2.5} 质量浓度逐年下降, 2014 年出现短暂反弹上升, 而至 2015 年达到自 2004 年以来的最低值(48 μg · m⁻³). 研究结果表明: 利用卫星遥感技术可以有效地评估南昌市的空气质量水平.

关键词: MODIS; PM_{2.5}; 南昌市; 卫星遥感

中图分类号: X 87; X 513 **文献标志码:** A **DOI:** 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2019.02.16

0 引言

随着我国经济的快速发展, 大气污染问题日益严峻, 引起了社会的广泛关注和政府的高度重视. 可吸入细颗粒物(PM_{2.5}) 作为重要的空气污染物可以较好地表征区域大气污染的程度^[1]. PM_{2.5} 会对人体健康产生不良影响, 可导致诸如呼吸道和肺部等疾病^[2-3] 发生. 研究表明在一些发展中国家和地区, 更为严重的空气质量问题引起了很多患呼吸道和肺部疾病.

随着我国工业化的快速发展, 环境污染效应不断积累, PM_{2.5} 已经成为影响中国空气质量的重要污染物. A. van Donkelaar 等^[4] 研究表明中国华北、华东、华中等地区是全球细颗粒物浓度最高的地区. 《2016 中国环境状况公报》^[5] 显示: 在中国 338 个地级及以上城市中, 有 84 个环境空气质量达标, 占 24.9%, 平均优良天数比例为 78.8%; 338 个城市发生重度污染 2 464 天次、严重污染 784 天次, 以 PM_{2.5} 为首要污染物的天数占重度及以上污染天数的 80.3%.

目前, 监测 PM_{2.5} 主要有卫星遥感和地基观测 2 种方法. 虽然地基站点观测可获得逐时高精度的质量浓度, 但是这种常规观测法只能在地面有限的站点进行, 建设和维护费用比较高. 地基监测数据在中国自 2012 年才开始公布, 中国环境监测总站向公众发布包括 PM_{2.5} 等 6 项空气质量数据. 截至到 2017 年 6 月江西省有国控站点 60 个, 其中南昌市 9 个, 这些站点主要分布在南昌市中心城区周边, 而难以获得大范围的 PM_{2.5} 空间分布特征. 卫星遥感则具有覆盖面积广阔、可以提供宏观变化的信息、反映污染物大尺度、区域尺度输送等优势, 可以弥补地面监测站点空间分布上存在的不足^[6]. 利用卫星遥感数据研究 PM_{2.5} 已成近些年的一个研究热点. 近年来许多学者提出了一些模型以寻找卫星遥感数据和 PM_{2.5} 之间的关系. 现有对 PM_{2.5} 的估算大多采用统计模型, 如具有代表性的 2 阶段统计模型^[7], 采用线性混合效应模型和广义相加模型相结合确定模型参数, 代入卫星遥感反演的光学厚度, 即可得到近地面 PM_{2.5} 的质量浓度^[8]. 该方法估算了我国 2014 年的近地面 PM_{2.5} 的质量浓度, 它与地基观测月均结果的相关性达到 0.89. Yao Ling 等^[9] 利用 MODIS(Mod-

收稿日期: 2018-06-10

基金项目: 国家自然科学基金重点基金(41130528) 资助项目.

作者简介: 李永辉(1981-), 男, 江西进贤人, 讲师, 主要从事大气遥感理论、反演与应用研究. E-mail: liyonghui999@sina.com

erate Resolution Imagine Spectroradiometer) 气溶胶光学厚度估算了我国2006—2010年的 $PM_{2.5}$ 浓度分布; Ma Zongwei等^[10]采用2步广义可加模型并利用MODIS气溶胶光学厚度估算了中国2004—2013年的 $PM_{2.5}$ 浓度分布. 卫星观测 $PM_{2.5}$ 已经成为国际上公认的一种高效便捷的技术.

随着工业的快速推进,作为农业大省的江西省煤炭消费大,南昌市作为省会煤炭消费占有江西省最大比例. 中国清洁空气联盟在《中国环境空气质量评估报告(2017)》中指出江西省是受 $PM_{2.5}$ 污染地区,主要严重天气发生在南昌市^[11]. 但目前利用遥感卫星数据对江西省大气污染的研究文献较少^[12],更缺乏针对 $PM_{2.5}$ 的综合污染趋势和来源的研究. 所以本文基于2004—2015年的MODIS气溶胶标准数据,利用 $PM_{2.5}$ 估算统计模型分析了南昌市 $PM_{2.5}$ 的时空特征以及影响该分布的主要因素,为该地区大气污染区域控制和防治提供理论和数据支撑.

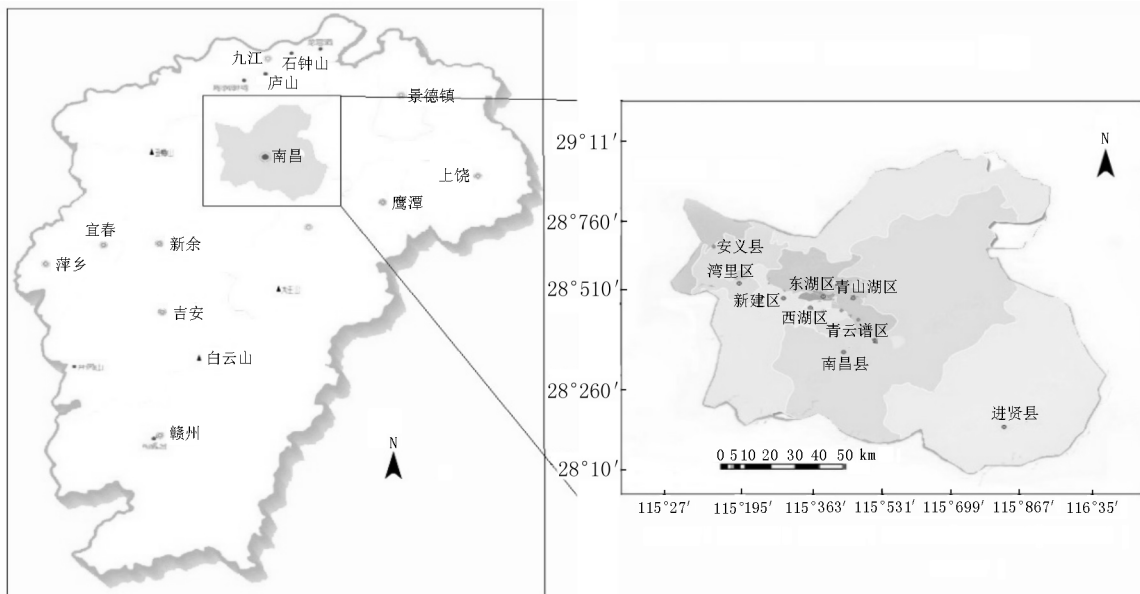


图1 南昌市地理位置图

1.2 方法与数据

MODIS是搭载在美国国家航空局1999年12月发射的Terra卫星和2002年5月发射的Aqua卫星上,波段范围为 $0.41 \sim 14.40 \mu m$,共36个通道,扫描宽度为 $2\,330\ km$. 由于 $PM_{2.5}$ 浓度水平受污染气体排放和气象条件影响,利用卫星遥感直接检测 $PM_{2.5}$ 质量浓度的方法比较复杂,首先需要获取整层的气溶胶光学厚度(AOD)数据. 本文使用的数据为南昌市2004—2015年间的Aqua/MODIS 3 km气溶胶数据产品. 该产品是当前应用最为广泛的卫星气溶胶光学数据产品之一. 本文使用的MODIS Collection

1 研究数据与区域

1.1 区域概述

南昌市地处于江西省的中北部,鄱阳湖的西南边(见图1),位于北纬 $28^{\circ}10' \sim 29^{\circ}11'$ 、东经 $115^{\circ}27' \sim 116^{\circ}35'$ 之间,东连上饶、南接抚州、西靠宜春、北与九江共鄱阳湖,南北最大纵距约 $121\ km$,东西最大横距约 $108\ km$,全境最高点梅岭主峰海拔 $841.4\ m$. 全境以鄱阳湖平原为主,东南相对平坦,西北为丘陵. 面积为 $7\,402.36\ km^2$,人数为 530.29 万(2015年).

南昌是中国唯一毗邻长三角、珠三角和闽三角的省会中心城市,是连接长三角、珠三角、海西经济区三大重要经济圈的省际交通廊道. 截至2016年6月,南昌市下辖东湖区、西湖区、青云谱区、青山湖区、湾里区、新建区6个市辖区和南昌县、进贤县、安义县3个县.

006气溶胶产品是利用暗像元算法对AOD进行反演^[13]得到的.

本文通过对地基观测站公布的 $PM_{2.5}$ 数据与Aqua卫星MODIS 3 km的AOD数据进行相关性统计分析. 首先对南昌市地基 $PM_{2.5}$ 数据有效性刷选,找出并删除异常数据(如中国春节期间燃放烟花爆竹引起局部空气污染等现象造成的数据异常),删除MODIS数据里的无效AOD数据;再通过经纬度对2组数据进行相关匹配,提取对应卫星过境时刻的 $PM_{2.5}$ 和AOD数据并进行相关性分析,得出 $PM_{2.5}$ 数据和AOD数据的关系模型.

2 结果和分析

利用前文所述方法,根据2013—2015年的历史观测数据获得PM_{2.5}数据和AOD数据的线性关系;再利用卫星观测的AOD数据,基于以上的线性关系估算获得的近地面PM_{2.5}数据;最后利用该卫星估算的PM_{2.5}数据评估月度、季度、年度3个时间尺度上

的时空分布及其变化情况.

2.1 相关性分析和时间变化趋势

根据已有大量文献可知,地面监测站PM_{2.5}数据和卫星遥感AOD数据之间存在相关性关系.图2为春、夏、秋、冬4个季度的地面监测站PM_{2.5}数据和卫星遥感AOD数据之间的相关性关系图.

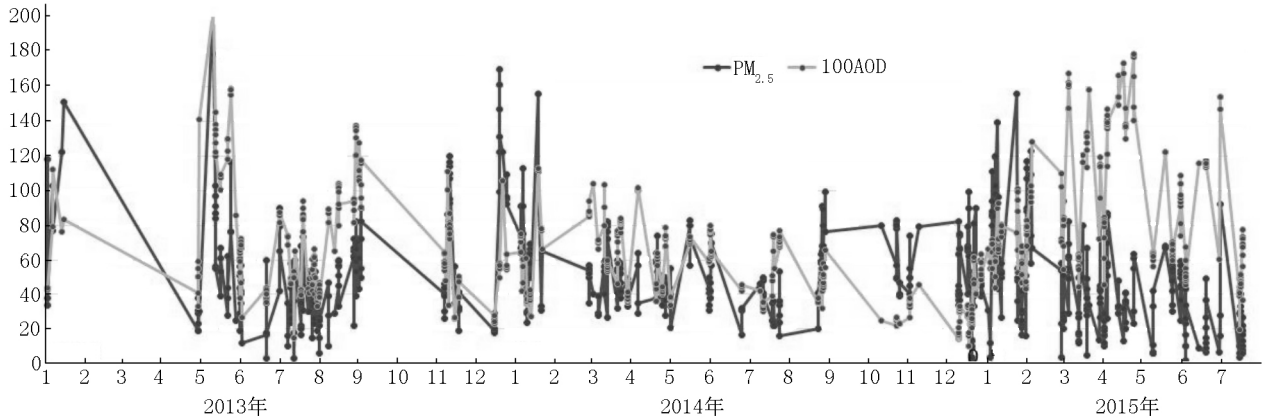


图2 南昌市地基PM_{2.5}与卫星遥感AOD(100AOD)数据随时间变化情况

图2显示了2013—2015年期间南昌市地面空气质量监测站PM_{2.5}数据与Aqua卫星遥感AOD数据之间随时间变化的规律基本吻合,这说明可利用估算获得的PM_{2.5}进行空气质量评估.

研究方法,一年分4季,即春季按3、4、5月份,夏季按6、7、8月份,秋季9、10、11月份,冬季按12、1、2月份进行数据统计,参照地面站点和卫星遥感记录经纬度,把地面PM_{2.5}数据和卫星遥感AOD数据之间的关系进行匹配分析计算(见图3).

为了找到二者之间的这种关系,经过使用本文

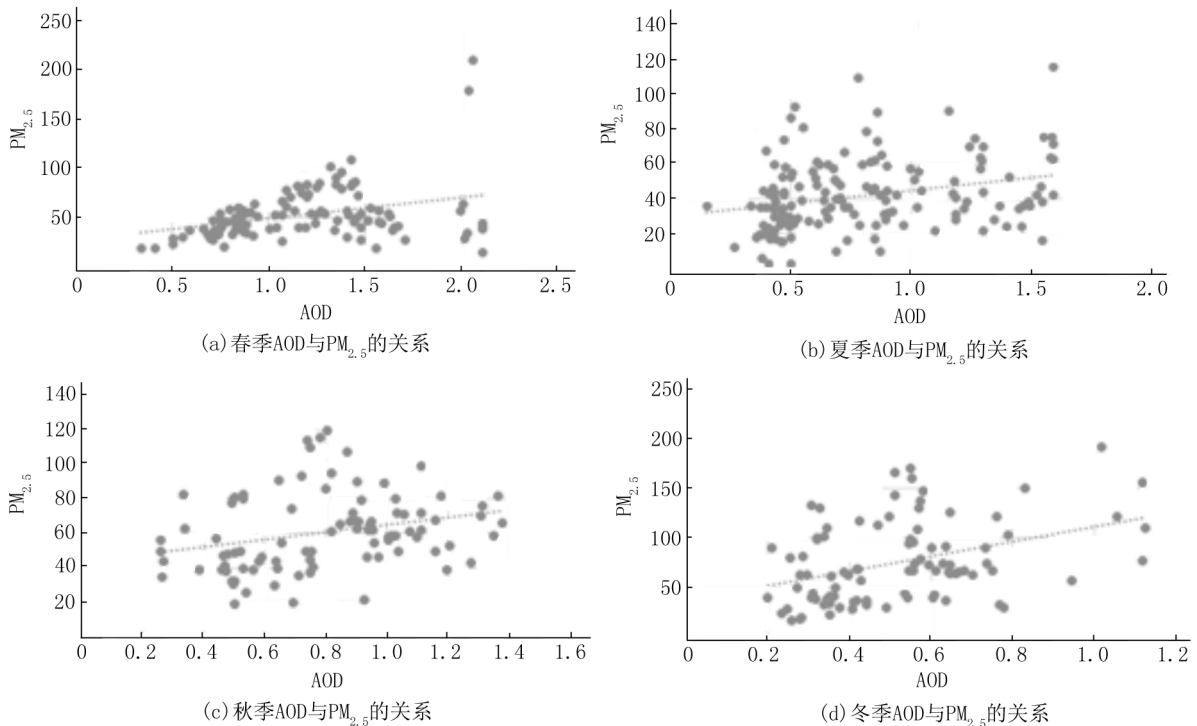


图3 2013—2015年南昌市地基PM_{2.5}($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)与卫星遥感AOD数据之间的4季相关性分析

经过数据运算,得出PM_{2.5}数据和卫星遥感AOD数据之间的线性关系

$$y_{\text{春季}} = 21.703x_{\text{春季}} + 27.747,$$

$$y_{\text{夏季}} = 14.878x_{\text{夏季}} + 30.289,$$

$$y_{\text{秋季}} = 21.254x_{\text{秋季}} + 43.888,$$

$$y_{\text{冬季}} = 25.529x_{\text{冬季}} + 45.496.$$

2.2 2004—2015年南昌市陆地PM_{2.5}质量浓度的年度、季度和月度均值变化

通过以上得到的南昌市空气质量浓度PM_{2.5}数据和近地面光学厚度AOD数据的相关性关系公式,代入光学厚度估算出南昌市全境的PM_{2.5}质量浓度.

如图4所示,1月份开始空气质量下降,2月份

PM_{2.5}均值为最高,随后空气质量逐渐改善,直到8月份为最佳,然后至12月份又逐渐下降.这原因在于春节后大量工厂开工生产导致2月份空气质量下降,3~8月春、夏季空气质量得到改善;进入秋季,空气质量开始下降,特别是到冬季天气寒冷,部分工厂等单位需要燃煤供热.

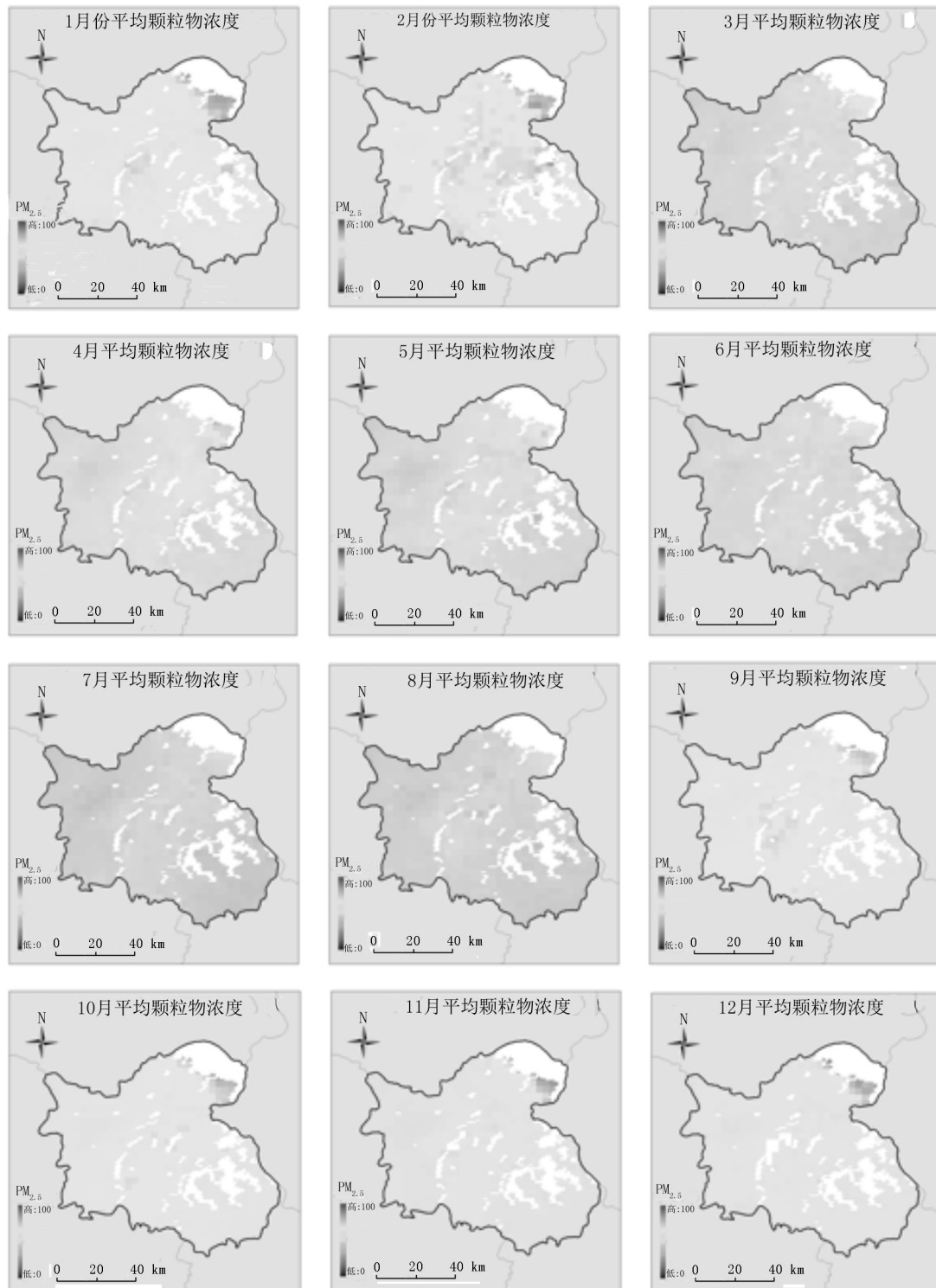


图4 2004—2015年南昌市陆地PM_{2.5}质量浓度月度均值分布($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

为分析南昌市对流层PM_{2.5}质量浓度的季节变化特征,统计得到了2004—2015年PM_{2.5}质量浓度

的季度均值.图5给出了春、夏、秋、冬4个季度的变化趋势.东北角靠近鄱阳湖,可能由于水汽的原因对 $PM_{2.5}$ 质量浓度有一定程度的高估.可以看出除去湖

区,南昌市中部即中心市区为 $PM_{2.5}$ 高值区,东部和西部城郊地区为低值区. $PM_{2.5}$ 最高值通常出现在冬季,秋季次之,最低值则通常出现在夏季.

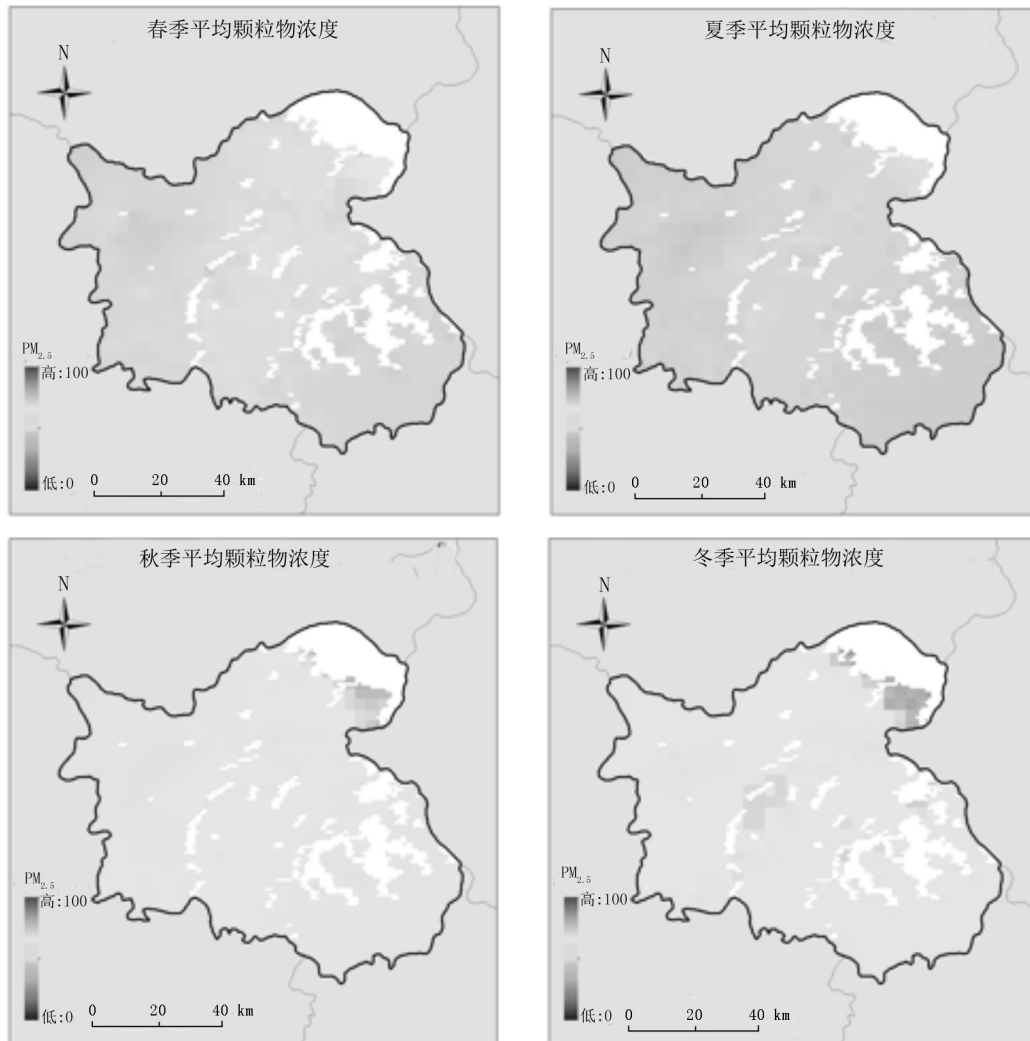


图5 2004—2015年南昌市陆地 $PM_{2.5}$ 质量浓度季度均值分布($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

从图6可以看出,从2004—2015年整体来看,2004—2005年南昌市空气质量下降,2006年改善后仍然不断下降;2008年南昌市颁布《南昌市高污染燃料禁燃区管理办法》,污染排放得到一定的遏制,但2009年的空气质量还是下降了,达到了污染程度最高.南昌市于2009年启动机动车排气的检测工作,2010年空气质量开始得到改善,到2013年度达到最佳,原因可能是南昌市于2013年1月1日起实施新《环境空气质量标准》^[14],新标准新增 $PM_{2.5}$ 作为环境空气污染物基本监测项目,加强了对空气污染源的防控管制;2014年有反弹,在2015年空气质量得到改善.2015年的空气质量为12年的最佳.

从南昌市来看,东南部和西北部城郊区县空气质量均好于中心城区;东北部为靠鄱阳湖湖区,湖面水汽蒸发量比较大,导致局部卫星遥感计算光学厚

度过大,反演出 $PM_{2.5}$ 质量浓度数据偏大,实际为水汽造成,可以不考虑.

3 结论

针对南昌市探讨了2004—2015年近地面 $PM_{2.5}$ 质量浓度的时空变化格局,分析了南昌市全境 $PM_{2.5}$ 月度、季度、年度变化特征,并对南昌市区县进行了初步的分析,结论如下:

1) 南昌市近地面 $PM_{2.5}$ 质量浓度都呈现明显的月度、季度变化特征.月均值年最高值通常出现在冬季的2月,1月、9月次之;最低值则出现在夏季的8月.2004—2015年季度的 $PM_{2.5}$ 质量浓度水平均值是冬季>秋季>春季>夏季.冬季是污染状况最为严重的季节;

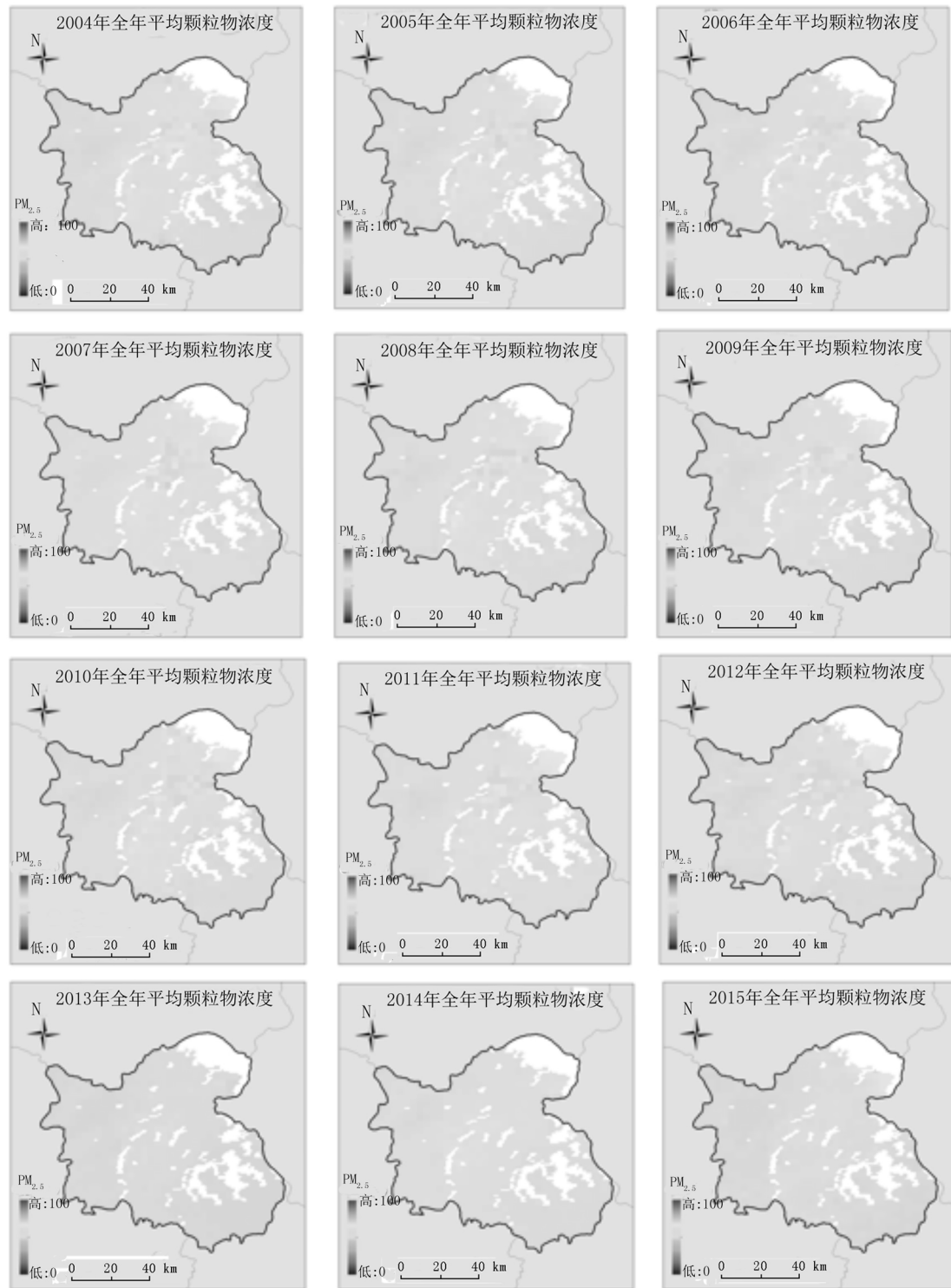


图6 2004—2015年南昌市陆地 $PM_{2.5}$ 质量浓度年度均值分布($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

2) 在2004—2015年中,近地面的 $PM_{2.5}$ 质量浓度波动较小。2006年改善后依然不断上升,2009年为波峰值,之后 $PM_{2.5}$ 质量浓度逐年下降,2013年达到阶段性波底值后,2014年有所上升,到2015年度得到较好改善,2015年 $PM_{2.5}$ 质量浓度达到最低值 $48\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$;

3) 从南昌全市来看,东南部城郊区县全境空气质量较其他区县更好,还有西北部城郊区县空气质

量均好于中心城区,但在空气质量恶化的时候城郊一样被污染;中心城区由于集中了南昌市的主要工业和人口,所以空气质量相对城郊来说更不理想。

4 参考文献

- [1] Streets D G, Canty T, Carmichael G R, et al. Emissions estimation from satellite retrievals: a review of current capa-

- bility [J]. *Atmospheric Environment* 2013, 77(3): 1011-1042.
- [2] Duki M I Z, Sudarmadi S, Suzuki S, et al. Effect of air pollution on respiratory health in Indonesia and its economic cost [J]. *Archives of Environmental Health*, 2003, 58(3): 135-143.
- [3] Pope C A, Dockery D W. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect [J]. *Journal of the Air and Waste Management Association* 2006, 56(6): 709-742.
- [4] van Donkelaar A, Martin R V, Park R J. Estimating ground-level PM_{2.5} using aerosol optical depth determined from satellite remote sensing [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 2006, 111(21): 5049-5066.
- [5] 中华人民共和国环境保护部. 2016年中国环境状况公报 [J]. *东方城乡报* 2017-06-13(B6).
- [6] Zhang Yang, Pun Betty, Wu Shiang Yuh, et al. Application and evaluation of two air quality models for particulate matter for a southeastern U.S. episode [J]. *Journal of the Air and Waste Management Association* 2004, 54(12): 1478-1493.
- [7] Ma Zongwei, Hu Xuefei, Huang Lei, et al. Estimating ground-level PM_{2.5} in China using satellite remote sensing [J]. *Environmental Science and Technology*, 2014, 48(13): 7436-7444.
- [8] 马宗伟. 基于卫星遥感的我国 PM_{2.5} 时空分布研究 [D]. 南京: 南京大学, 2015.
- [9] Yao Ling, Lu Ning. Spatiotemporal distribution and short-term trends of particulate matter concentration over China, 2006-2010 [J]. *Environmental Science and Pollution Research International* 2014, 21(16): 9665-9675.
- [10] Ma Zongwei, Hu Xuefei, Sayer A M, et al. Satellite-based spatiotemporal trends in PM_{2.5} concentrations: China, 2004-2013 [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2016, 124(2): 184-192.
- [11] 中国清洁空气联盟. 中国环境空气质量评估报告 (2017) [R/OL]. (2017-09-25) [2017-10-20]. <http://www.cleanairechina.org/product/8902.html>.
- [12] Li Dongmei, Guo Yang, Li Yuan, et al. Air pollutant emissions from coal-fired power plants [J]. *Open Journal of Air Pollution* 2012, 1(2): 37-41.
- [13] Levy R C, Mattoo S, Munchak L A, et al. The collection 6 MODIS aerosol products over land and ocean [J]. *Atmospheric Measurement Techniques* 2013, 6(1): 159-259.
- [14] 谢丹. 南昌城市空气污染治理研究 [J]. *老区建设*, 2014(10): 38-41.

The Study on Air Quality Change of Nanchang City from 2004 to 2015 Years Based on Satellite Remote Sensing MODIS Data

LI Yonghui^{1,2,3,4}, WANG Yang^{3,4,5}, YI Qingchuan^{1,2}, CHEN Liangfu^{3,4}

- (1. Geography Teaching and Research Section, Yichun University, Yichun Jiangxi 336000, China;
2. Center for Geographic Research, Yichun University, Yichun Jiangxi 336000, China;
3. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;
4. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Beijing 100101, China;
5. College of Geography Science, Fujian Normal University, Fuzhou Fujian 350117, China)

Abstract: Using MODIS aerosol optical depth (AOD) to estimate the near ground PM_{2.5} mass concentration, the spatial distribution characteristics and seasonal variation characteristics of PM_{2.5} mass concentration in Nanchang from 2004 to 2015 years are calculated. The results show that the central urban area of Nanchang is a PM_{2.5} high value area and the eastern and western suburbs are low value areas. The highest values of PM_{2.5} usually appear in winter, followed by autumn, and the lowest values usually appear in summer. After 2009, PM_{2.5} mass concentration in Nanchang decreases year by year, and rebounds in 2014, reaches its highest level in 2014, reaches its lowest value in 2015 (48 μg · m⁻³) after 2004. The results show that the satellite remote sensing technology can effectively assess the air quality level in Nanchang.

Key words: MODIS; PM_{2.5}; Nanchang city; satellite remote sensing

(责任编辑: 曾剑锋)