

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第38卷 第12期

Vol.38 No.12

2017

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次(卷终)

京津冀区域 PM _{2.5} 污染相互输送特征	王燕丽, 薛文博, 雷宇, 王金南, 武卫玲 (4897)
顾及尺度效应的多源遥感数据“源”“汇”景观的大气霾效应	许凯, 余添添, 孙姣姣, 袁兆祥, 秦昆 (4905)
基于多源数据的 PM _{2.5} 浓度时空分布预测与制图	肖璐, 郎艺超, 夏浪, 楼昭涵, 孙楠, 黄李童, George Christakos (4913)
华东区域 PM _{2.5} 变化背景下浙江省人口经济暴露水平评估	郁珍艳, 高大伟, 李正泉, 杨续超, 王阔, 马浩, 徐宏辉 (4924)
南京北郊不同大气污染程度下气溶胶化学组分特征	张程, 于兴娜, 安俊琳, 朱彬, 林梦凡 (4932)
菏泽市 PM _{2.5} 碳组分季节变化特征	刘泽珺, 吴建会, 张裕芬, 梁丹妮, 马威, 刘保双, 冯银厂, 张勤勤 (4943)
辽宁典型城市道路扬尘 PM ₁₀ 、中水溶性无机离子组分特征及来源解析	张伟, 姬亚芹, 张军, 张蕾, 王伟, 王士宝 (4951)
天津冬季一次重污染过程颗粒物中水溶性离子粒径分布特征	姚青, 刘子锐, 韩素芹, 蔡子颖, 刘敬乐, 黄小娟, 刘景云, 王跃思 (4958)
高原城市昆明公路隧道大气中 PM _{2.5} 理化特征分析	王成辉, 闫琨, 韩新宇, 施择, 毕丽玫, 向峰, 宁平, 史建武 (4968)
2015 年中国近地面臭氧浓度特征分析	段晓瞳, 曹念文, 王潇, 张玉欣, 梁静舒, 杨思鹏, 宋秀瑜 (4976)
不同 CDPF 贵金属负载量对柴油公交车 VOCs 组分排放影响	楼狄明, 张子骏, 刘继凯, 谭丕强, 胡志远 (4983)
ENSO 事件对上海降水中氢氧同位素变化的影响	董小芳, 杨华玮, 张杰, 朱志鹏, 杨言, 郑祥民, 周立旻 (4991)
我国南方两个典型森林生态系统的硫、氮和汞沉降量	程正霖, 罗遥, 张婷, 段雷 (5004)
新安江水库二氧化碳排放的时空变化特征	杨乐, 李贺鹏, 孙滨峰, 岳春雷 (5012)
三峡库区表层沉积物营养盐时空变化及评价	卓海华, 邱光胜, 翟婉盈, 刘云兵, 兰静 (5020)
三门峡水库水体中不同形态汞的分布特征	程柳, 麻冰涓, 周伟立, 王力, 耿音, 刘清伟, 毛宇翔 (5032)
太子河流域中游地区河流硝酸盐来源及迁移转化过程	李艳利, 孙伟, 杨梓睿 (5039)
典型入湖河流水体氮素变化特征及其对降雨的响应: 以太湖乌溪港为例	连慧妹, 刘宏斌, 李旭东, 宋挺, 刘申, 雷秋良, 任天志, 武淑霞, 李影 (5047)
缙云山常绿阔叶林湿沉降过程中不同空间层次水质变化特征	马明, 孙涛, 李定凯, 王定勇 (5056)
基于 MIKE11 模型提高污染河流水质改善效果的方法	熊鸿斌, 陈雪, 张斯思 (5063)
北京市地下水典型抗生素分布特征与潜在风险	陈卫平, 彭程伟, 杨阳, 吴玉梅 (5074)
深圳茅洲河下游柱状沉积物中碳氮同位素特征	凌郡鸿, 张依章, 王民浩, 周北海, 陶明, 陈惠明, 闫振广 (5081)
供水管网铁释放的影响因素相对重要性分析	刘莹, 于影, 石宝友, 刘书明, 吴雪 (5090)
低温高铁锰氨氮地下水生物同池净化	李冬, 曹瑞华, 杨航, 王刘煜, 张杰, 曾辉平 (5097)
臭氧预氧化强化混凝对二级出水中 DON 作用机制探讨	刘冰, 郑煜铭, 王大祥, 李清飞, 赵承美, 余国忠, 古励 (5106)
碱活化过一硫酸盐降解水中环丙沙星	葛勇建, 蔡显威, 林翰, 徐梦苑, 沈一挺, 周丹, 钱梦洁, 邓靖 (5116)
MIL-88A@MIP 催化活化过硫酸盐靶向降解邻苯二甲酸二丁酯	王九妹, 关泽宇, 万金泉, 王艳, 马邕文, 闫志成, 张桂华 (5124)
常温下加装脱硫装置的 MCBMBR 处理高硫酸盐有机废水试验	徐婷, 金艳青, 李勇 (5132)
载镁天然沸石复合材料对污水中氮磷的同步回收	成雪君, 王学江, 王浩, 张志昊, 赵建夫 (5139)
不同运行模式下改良型 CAST 工艺处理生活污水的除磷性能	马娟, 王谨, 俞小军, 周猛, 孙洪伟, 王磊 (5146)
ABR-MBR 工艺处理生活污水实现短程硝化	吕亮, 赵诗惠, 韦佳敏, 张敏, 尤雯, 吴鹏, 沈耀良 (5154)
海洋厌氧氨氧化菌处理含海水污水的基质抑制及其动力学特性	周同, 于德爽, 李津, 吴国栋, 王晓静 (5162)
游离氨 (FA) 对氨氧化过程氨逃逸影响试验	孙洪伟, 于雪, 尤永军, 彭永臻, 王淑莹 (5169)
西安市典型景观水体水质及反硝化细菌种群结构	康鹏亮, 黄廷林, 张海涵, 陈胜男, 商潘路, 冯稷, 贾宽宇 (5174)
厌氧氨氧化启动过程及微生物群落结构特征	汪瑶琪, 张敏, 姜滢, 徐乐中, 陈重军, 沈耀良 (5184)
SBAF 单级自养脱氮快速启动、稳定运行及微生物群落演化	岳秀, 刘竹寒, 于广平, 吉世明, 唐嘉丽 (5192)
活性污泥中硝化螺菌 (Nitrospira) 的富集及其动力学参数	姚倩, 彭党聪, 赵俏迪, 王博 (5201)
pH 值对零价铁自养反硝化过程的影响	张宁博, 李祥, 黄勇 (5208)
接种单一/混合污泥对厌氧氨氧化反应器快速启动的影响	张泽文, 李冬, 张杰, 郭跃洲, 李帅 (5215)
活性污泥法和生物膜法 SBR 工艺亚硝化启动和稳定运行性能对比	孙艺齐, 卞伟, 王盟, 赵青, 王文啸, 梁东博, 李军 (5222)
长期暴露下纳米 TiO ₂ 对厌氧颗粒污泥体系稳定性的影响	李慧婷, 崔福义 (5229)
长三角典型城郊不同土地利用土壤抗生素组成及分布特征	赵方凯, 陈利顶, 杨磊, 方力, 孙龙, 李守娟 (5237)
不同有机肥中磷在土壤剖面中累积迁移特征与有效性差异	张田, 许浩, 茹淑华, 苏德纯 (5247)
有机磷酸酯在三峡库区土壤中污染特征	何明靖, 杨婷, 杨志豪, 魏世强 (5256)
上海某生活垃圾焚烧厂周边土壤重金属污染特征、来源分析及潜在生态风险评价	郭彦海, 孙许超, 张士兵, 余广杰, 唐正, 刘振涛, 薛昱, 高品 (5262)
大庆市不同环境介质中多环芳烃污染特征对比及来源解析	宋宁宁, 冯嘉申, 于洋, 李迎霞 (5272)
工业区户外儿童游乐场地表灰尘重金属污染的磁学响应	杨孟, 李慧明, 李凤英, 王金花, 刁一伟, 钱新, 杨兆平, 王成 (5282)
上海市郊工业区附近蔬菜中重金属分布及其健康风险	周雅, 毕春娟, 周泉潇, 张焕焕, 陈振楼, 包新一 (5292)
基施硅肥对土壤微生物有效性及水稻镉累积效应的影响	高子翔, 周航, 杨文弢, 辜娇峰, 陈立伟, 杜文琪, 徐珺, 廖柏寒 (5299)
水稻对气态单质汞的吸收与挥发	尚帅, 田珮, 蒋煜, 武婧轩, 姜珊, 邓泓 (5308)
麦田 O ₃ 浓度的长期变化及其对冬小麦干物质和产量损失的估算	赵辉, 郑有飞, 李硕, 徐静馨, 曹嘉晨, 魏莉, 关清 (5315)
缓控释肥侧深施对稻田氨挥发排放的控制效果	侯朋福, 薛利祥, 俞映惊, 薛利红, 范立慧, 杨林章 (5326)
生物炭和有机肥对华北农田盐碱土 N ₂ O 排放的影响	石玉龙, 刘杏认, 高佩玲, 张晴雯, 张爱平, 杨正礼 (5333)
成都平原不同类型沟渠 CO ₂ 、CH ₄ 和 N ₂ O 排放通量特征及其影响因素	冯香荣, 邓欧平, 邓良基, 吴铭, 姚昆, 杨泽鹏 (5344)
河流 CO ₂ 与 CH ₄ 排放研究进展	王晓峰, 袁兴中, 陈槐, 何奕忻, 罗珍, 刘恋, 何宗茂 (5352)
《环境科学》第 38 卷 (2017 年) 总目录	(5367)
《环境科学》征稿简则 (4950) 《环境科学》征订启事 (5031) 信息 (4923, 5105, 5161)	

2015 年中国近地面臭氧浓度特征分析

段晓瞳, 曹念文*, 王潇, 张玉欣, 梁静舒, 杨思鹏, 宋秀瑜

(南京信息工程大学, 气象灾害教育部重点实验室, 气候与环境变化国际合作联合实验室, 气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 中国气象局气溶胶与云降水重点开放实验室, 南京 210044)

摘要: 根据 2015 年全国 189 个城市的近地面臭氧浓度数据, 使用 ArcGIS 等软件处理, 从不同时空、地形特征、温度等方面分析得出中国近地面臭氧浓度的变化特征. 2015 年中国近地面的臭氧浓度变化呈先增高后降低的趋势, 各季节中浓度大小关系呈夏季 > 秋季 > 春季 > 冬季的变化规律, 且在 7 月达到全年最高值. 中国各行政区中, 华东、华南、华北地区的臭氧污染较为严重. 在经纬度变化的影响方面, 经度变化对近地面臭氧浓度的影响不大, 而纬度变化使臭氧浓度变化明显; 在同一纬度的 3 种不同地形对比中发现, 不同的地形给近地面臭氧浓度带来的影响微乎其微. 温度和近地面臭氧浓度的变化呈现良好的正相关关系.

关键词: 臭氧浓度; 变化特征; 相关性; 时空变化; 地形; 温度

中图分类号: X511 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2017)12-4976-07 **DOI:** 10.13227/j.hjxx.201703045

Characteristics Analysis of the Surface Ozone Concentration of China in 2015

DUAN Xiao-tong, CAO Nian-wen*, WANG Xiao, ZHANG Yu-xin, LIANG Jing-shu, YANG Si-peng, SONG Xiu-yu

(Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education, Joint International Research Laboratory of Climate and Environment Change, Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Key Laboratory for Aerosol-Cloud-Precipitation of China Meteorological Administration, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Surface ozone concentration data from 189 cities in China in 2015 were processed by ArcGIS software in order to obtain the characteristics of the surface ozone concentration, such as time and space, topographical features, temperature, etc. The trend for surface ozone concentration was a decrease followed by an increase in China in 2015. The concentrations during the four seasons followed the order: summer > autumn > spring > winter, and the maximum appeared in July. The ozone pollution of East China, South China, and North China were more serious than other regions in China. The variation of longitude had a small influence on the ozone concentration, while the influence of latitude is significant. According to the analysis contrasting three different topographies in the same latitude, the influence of topography on ozone concentration was negligible. Furthermore, the research found a significant positive correlation between surface ozone concentration and temperature.

Key words: ozone concentration; variation in characteristics; correlation; temporal and spatial variation; topography; temperature

从 20 世纪开始, 臭氧(O_3)浓度不断增加, 如今已经成为城市低层大气重要的污染物之一. 在过去的 10 年间, 全球臭氧浓度都呈现出上升趋势^[1,2]. 2009~2010 年, 有学者在研究中发现意大利南部^[3]、日本沿海^[4]以及印度南部^[5]均出现了周末臭氧浓度增高现象. 中国各地 O_3 污染现象也频频发生, 中国的中、南部特别是沿海城市尤为突出^[6-9], 比如: 在 2011 年的深圳大运会期间^[10], 2012 年的北京及周边地区^[11], 2013 年的嘉兴^[12]以及同年夏季的长江三角洲^[13]等地区均发生了不同程度的臭氧污染事件. 由于 O_3 可增加大气的氧化性, 促进大气中 SO_2 、 NO_2 、VOCs 的氧化和气粒转化为颗粒物的过程, 进而增强 $PM_{2.5}$ 等颗粒物污染, 同时高浓度的地面 O_3 也会增加城市光化学烟雾发

生的频率^[14-16].

随着城市的迅速发展, 机动车数量急剧增加, 城市空气中 O_3 浓度也在急剧增加, 据 2015 年环境公报显示^[17]: O_3 日最大 8h 平均值第 90 百分位数浓度范围为 $62 \sim 203 \mu g \cdot m^{-3}$, 平均为 $134 \mu g \cdot m^{-3}$, 日均值超标天数占监测天数的比例为 4.6%. 在所有未达标的城市中, 以细颗粒物($PM_{2.5}$)、 O_3 和可吸入颗粒物(PM_{10})为首要污染物的居多, 其中 O_3 污染占超标天数的 16.9%. 2015 年, 74 个新标准第一阶段实施城市(包括京津冀、长三角、珠三角

收稿日期: 2017-03-06; 修订日期: 2017-06-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(41375044/D0503, 41175033/D0503); 公益性行业科研专项(GYHY201006047-5)

作者简介: 段晓瞳(1990~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为激光大气探测, E-mail: m13770859716@163.com

* 通信作者, E-mail: nwcao@nuist.edu.cn

等重点区域地级城市及直辖市/省会城市和计划单列市)监测结果显示, O₃ 日最大 8 h 平均值第 90 百分位数浓度范围为 95 ~ 203 μg·m⁻³, 平均为 150 μg·m⁻³, 比 2014 年上升 3.4%; 达标城市比例比 2014 年下降 5.4 个百分点. 其中长江三角洲地区最为严重, 25 个地级以上城市中有 16 个城市超标; O₃ 日最大 8 h 平均值第 90 百分位数浓度为 163 μg·m⁻³, 比 2014 年上升 5.8 个百分点.

从以上数据来看, 我国 O₃ 污染情况已经日趋严重, 且 O₃ 浓度上升可能引发光化学污染和 PM_{2.5} 等颗粒物污染. 为了解 O₃ 浓度的月变化情况, 本文利用 2015 年全国 189 个城市的 O₃ 资料从全国月平均浓度和部分地形主要城市月平均浓度变化两方面来分析全国的 O₃ 污染水平, 结合时间变化和空间变化分析 O₃ 的浓度变化特点.

1 材料与方法

1.1 材料

本文收集整理了中国 2015 年 189 个重点城市的小时 O₃ 浓度的日平均数据, 此数据来源于空气质量分析平台、中国环保部及中国环境监测总站, 本文通过使用网站公开发布的 O₃ 浓度历史数据 (O₃ 浓度的日平均数据经过网站处理之后公布) 进行分析研究, 在以该数据的真实可靠为前提的条件下, 对我国 2015 年的 O₃ 浓度进行了分析.

此外, 本文还收集整理了青藏高原, 四川盆地, 长江中下游平原部分重点城市的 2015 年的月平均温度, 此数据来源于中国天气网.

图 1 为 189 个城市的分布情况, 从城市的分布可以看出, 监测城市大多分布在东部地区, 西部的监测点很少, 台湾地区和南海地区的监测情况暂未获得.

1.2 方法

根据收集到的 2015 年的 189 个城市的逐日 O₃ 浓度, 计算出 O₃ 浓度月均值, 通过在反距离权重插值法即公式(1)对 O₃ 浓度月均值进行空间插值分析:

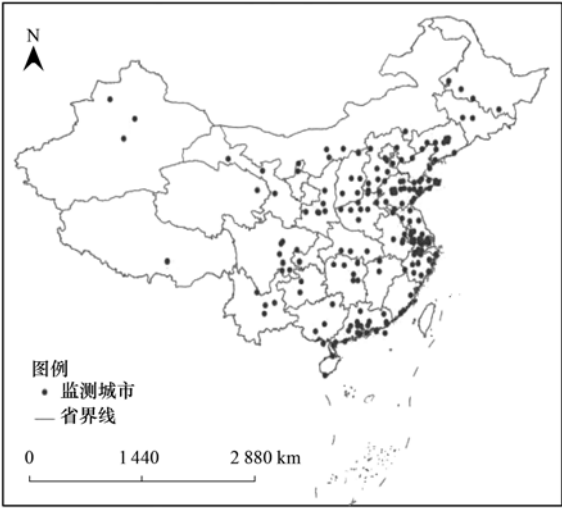
$$Z_o = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i / d_i^r}{\sum_{i=1}^n 1 / d_i^r} \quad (1)$$

表 1 全国 O₃ 浓度年均值统计特征¹⁾

Table 1 Descriptive statistics of the yearly average concentration of O₃ in China

最大值		最小值		平均值/μg·m ⁻³
数值/μg·m ⁻³	时间地点	数值/μg·m ⁻³	时间地点	
300	8 月 山东 平度	10	1 月 新疆 乌鲁木齐	121.5

1) 台湾地区和南海地区的监测情况暂未获得



台湾地区 and 南海地区的监测情况暂未获得, 下同

图 1 全国监测城市分布情况

Fig. 1 Distribution of sampling sites in China

式中, Z₀ 为插值点 O 的估计值; Z_i 为监测点 i 处的 O₃ 浓度值; d_i 为监测点 i 与插值点 O 之间的距离; n 为插值过程中用到的控制点数目; r 为指定的幂数^[18]. 处理过程中使用 ArcGIS10.2 的默认幂数值 2, 通过以上处理之后的数据能够直观地表现出 2015 年全国 O₃ 浓度随时间空间的变化规律.

为更加细致地研究 O₃ 浓度随空间的变化情况, 本文从 189 个城市中筛选出同一纬度不同经度的 3 个城市以及同一经度不同纬度的 3 个城市以绘制曲线图的形式进行对比分析.

此外, 本文筛选出一定纬度区域内 (27° ~ 33° N) 的 3 种不同地形, 对 3 种地形下不同城市的 O₃ 浓度和温度数据的平均处理, 通过绘制 O₃ 浓度-温度曲线图和计算相关性方程式的形式进行对比, 分析影响 O₃ 浓度变化的原因及规律.

2 O₃ 浓度分布概况

从收集到的数据中经过处理得出, 2015 年全国最大 O₃ 浓度出现在 8 月的山东省的平度市, 最大值为 300 μg·m⁻³, 最小 O₃ 浓度出现在 1 月新疆维吾尔自治区的乌鲁木齐市, 最小值为 10 μg·m⁻³, 全国 2015 年的 O₃ 浓度平均值为 121.5 μg·m⁻³ (表 1). 由于我国环境空气质量标准^[19] 中

环境空气污染物基本项目的浓度限值关于 O_3 的平均时间只有日最大 8 h 平均和 1 h 平均, 没有全年的平均值, 故此处所得全年的平均值浓度无法判断是否达到国家环境空气质量一级标准或是二级标准, 只能根据日最大 8 h 浓度来判断臭氧含量的高低与否.

3 O_3 浓度变化特征

O_3 是光化学二次污染物, 对流层 O_3 的主要来源是平流层输入和对流层光化学反应, 主要汇是干沉降和化学反应耗损^[20], 近地面 O_3 则与太阳辐射和气象因素有密切关系^[13]. 通过观测及分析, 近地

面 O_3 存在时间和空间的变化规律, 随季节、地区、地形的变化而呈现不同的变化规律^[21~26].

3.1 时空分布特征

图 2 为 2015 年全国 O_3 浓度变化, 从中可知, 全国大部分地区全年 O_3 浓度随时间的变化趋势为先增高后降低. 1~2 月 O_3 浓度基本处于 $80 \mu g \cdot m^{-3}$ 以下, 从 3 月开始 O_3 浓度大范围升高. 到 6 月时, 除华南地区外其他地区 O_3 浓度已达到 $120 \mu g \cdot m^{-3}$ 以上. 大部分地区 7 月 O_3 浓度达到最高值, 其中京津冀、长三角以及沿海地区 O_3 浓度最高, 可达 $260 \sim 280 \mu g \cdot m^{-3}$. 8 月大部分地区 O_3 浓度开始逐渐降低, 但华南和沿海地区的 O_3 浓度则

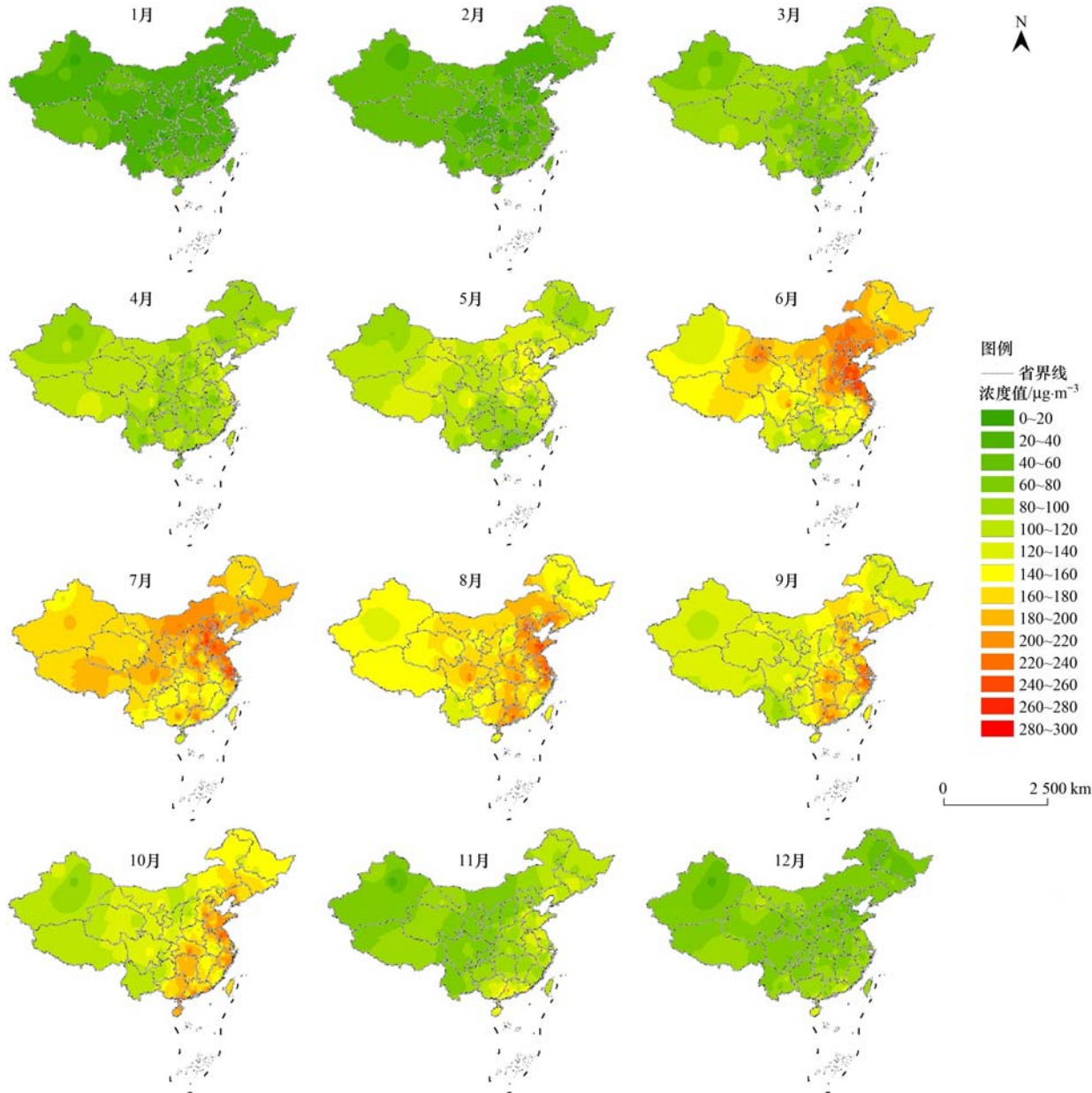


图 2 2015 年全国 O_3 浓度时空变化

Fig. 2 Temporal and spatial variation of the concentration of O_3 in China, 2015

下降不明显, 甚至部分地区有升高迹象(如山东省平度市的 O_3 浓度达到 $300 \mu g \cdot m^{-3}$)。9~10 月, 在其他地区 O_3 浓度迅速下降时, 东部沿海和华南地区的臭氧浓度基本处于 $180 \sim 260 \mu g \cdot m^{-3}$ 之间。到 11 月全国所有城市 O_3 浓度大幅度下降, 到 12 月时全国的 O_3 浓度值已基本低于 $100 \mu g \cdot m^{-3}$ 。也就是说我国大部分地区 O_3 随时间的变化规律为单峰型: 在 1 月时达到 O_3 浓度的最低值(本月全国臭氧浓度平均值为 $34.00 \mu g \cdot m^{-3}$), 在 7 月达到最高值(本月全国臭氧浓度平均值为 $189.58 \mu g \cdot m^{-3}$)。

本文将 2015 年全年数据划分为 4 个季节, 12 月~次年 2 月为冬季, 3~5 月为春季, 6~8 月为夏季, 9~11 月为秋季。图 2 表明: 我国 O_3 浓度的季节变化规律为: 夏季 > 秋季 > 春季 > 冬季。冬季 O_3 浓度最低, 基本维持在 $0 \sim 100 \mu g \cdot m^{-3}$ 范围内, 平均浓度为 $52.28 \mu g \cdot m^{-3}$; 春季逐渐有升高趋势, 平均浓度为 $98.66 \mu g \cdot m^{-3}$; 夏季 O_3 浓度值达到最高, 全国大片区域处于 $200 \sim 300 \mu g \cdot m^{-3}$ 的 O_3 浓度下, 平均浓度为 $185.68 \mu g \cdot m^{-3}$; 秋季 O_3 浓度在大部分地区逐渐减小直到冬季达到最低值。

我国日照时间随时间变化规律为在冬至时, 日照时间最短, 随着时间变化日照时间逐渐增长, 在夏至时达到全年日照时间的最大值, 夏至过后, 日照时间再逐渐减短^[27]。由于 O_3 的形成与太阳辐射、高温等气象因素有关, 而夏季的高 O_3 浓度主要是强太阳辐射、高温等有利的气象条件造成的, 在冬季辐射强度、温度等均降低, 大气活性逐渐减弱, 由于 O_3 属于大气二次污染物, 在此种条件下浓度相应降低^[13,28]。

我国位于北半球, 由北向南纬度逐渐递减, 最北端在漠河以北, 黑龙江主航道中心线上, 可达北纬 53° , 最南端在南沙群岛中的曾母暗沙上, 在北纬 4° 附近。最东端位于东经 135° 黑龙江和乌苏里江交汇处, 最西端位于东经 73° 的帕米尔高原乌兹别里山口(乌恰县)上^[29]。为了对比我国经度和纬度与 O_3 浓度变化的关系, 本文分别选取了同一经度($109^\circ E$)附近不同纬度的 3 个城市(三亚 $18^\circ N$; 柳州 $23^\circ N$; 包头 $40^\circ N$), 和同一纬度($40^\circ N$)附近不同经度的 3 个城市(库尔勒 $86^\circ E$; 包头 $109^\circ E$; 丹东 $124^\circ E$)做了分析比较。

图 3 为同一经度上不同纬度的 O_3 浓度对比, 可以很清楚地看出, O_3 浓度的变化随纬度变化非常明显, 随着纬度的升高, O_3 的月平均浓度变化图

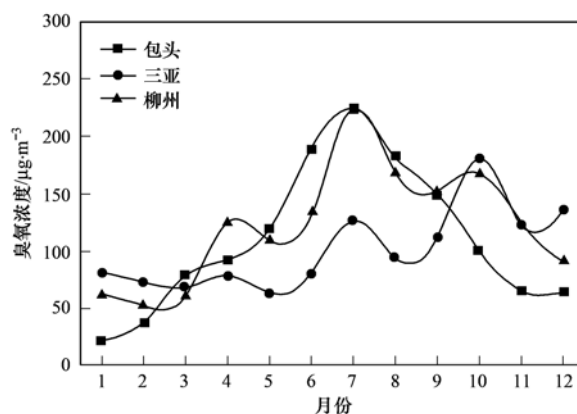


图 3 同一经度不同纬度对比情况

Fig. 3 Correlation of the three different latitude areas at the same longitude

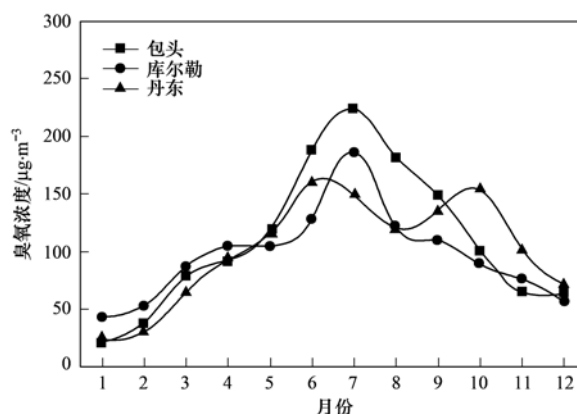


图 4 同一纬度不同经度对比情况

Fig. 4 Correlation of the three different longitude areas at the same latitude

由多峰结构逐渐发生变化, 最后变为单峰结构。从中可以看出, 位于最低纬度的三亚表现出了 3 个峰, 分别出现在 4、7 和 10 月, 在 10 月达到最高值 $181 \mu g \cdot m^{-3}$; 处于中间纬度的柳州虽然也表现为三峰结构, 但最高值则出现在最为突出的 7 月主峰上, 此时 O_3 浓度值高达 $224 \mu g \cdot m^{-3}$; 而位于相对纬度较高的包头呈现出了明显的单峰结构, 表现为全年 O_3 浓度先增加, 在 7 月达到全年 O_3 浓度的最高值 $224 \mu g \cdot m^{-3}$, 再逐渐减少。综上所述, 这些现象说明不同纬度对 O_3 的变化有很大的影响, 且纬度越高, O_3 浓度的单峰结构越明显, 且会在 7 月时达到臭氧浓度的最高值。

根据资料显示^[27], 我国的光照随纬度的变化规律为秋分以后, 次年的春分以前, 由于太阳直射点在南半球, 所以随着纬度的升高, 日照时间逐渐变长。由于 O_3 的形成与光照有关, 而图 3 中显示的 O_3 浓度的变化规律与我国光照时间随纬度变化的规律正好相符合。

图4为同一纬度上不同经度的对比,包头和库勒地区的 O_3 浓度变化趋势基本相同,均表现为单峰结构,峰值均出现在7月(包头峰值为 $224 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,库勒峰值为 $187 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).而丹东地区则与两者不同,其 O_3 浓度变化呈双峰结构,峰值分别出现在6月($160 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)和10月($154 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$),但浓度不高,根据天气网气象资料^[30]显示,丹东在2015年7~9月期间有连绵阴雨天气,尤其在8月更有暴雨天气情况发生,在此种情况下,太阳辐射时间和辐射强度均降低,造成形成 O_3 的途径受阻,致使 O_3 浓度降低,到10月天气转好,太阳辐射增多, O_3 浓度上升,形成小高峰.这种现象说明,太阳辐射对 O_3 浓度的影响要远大于经度对 O_3 浓度带来的影响.

综合图3和图4的分析得出: O_3 浓度的变化趋势与纬度的变化关系为,纬度越高, O_3 浓度的单峰结构表现得越明显;而与经度的相关性不大.

3.2 地形分布特征

由于中国地貌多样,因此本文选取了 $27^\circ\sim 33^\circ\text{N}$ 范围内不同地形(高原、盆地和平原)的 O_3 均值进行对比分析.我国是一个西高东低的多级地势国家,自西向东阶梯状分布,其中青藏高原平均海拔在4000 m以上,四川盆地平均海拔在650~750 m之间,长江中下游平原海拔多在50 m以下^[29].

如图5所示,不同地形的 O_3 浓度变化呈现出不同的变化趋势, O_3 浓度值的大小也存在差异.从中可以看出,除8、9、10月外,青藏高原的 O_3 浓度值普遍高于四川盆地和长江中下游平原,而四川盆地和长江中下游平原的浓度值变化趋势则相差不多;在7月3种地形 O_3 浓度从数值上看差别很小(青藏高原平均浓度为 $191 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,四川盆地为 $186 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,长江中下游平原为 $183 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$),从图形上

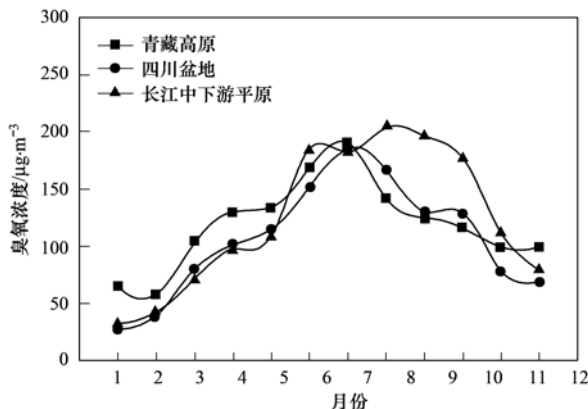


图5 不同地形对比情况

Fig. 5 Correlation of the different land features

看基本重合;在8月长江中下游平原出现 O_3 浓度峰值($205 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$),同时四川盆地地区也在这段时间内浓度值高于青藏高原地区,这可能是温度等气象因子的影响,此讨论将在下一小节中具体分析.

通过上文分析,虽然地形的变化和海拔高度的不同会对 O_3 浓度的变化产生一定的影响,但是影响并不是非常明显,和其他影响因子比起来可以忽略不计.

3.3 温度变化特征

在近地面层,臭氧的转化容易受到近地面层气象条件的影响,温度是其中的主要影响因子之一^[31~33].

如图6所示,对3种不同的地形做了 O_3 浓度和温度之间的对比分析,发现无论是在哪种地形, O_3 浓度都会随温度的升高而增加.其中,图6(a)为青藏高原 O_3 浓度与温度的相关性对比,从中可知, O_3 和温度都在7月时达到最大值,其相关性方

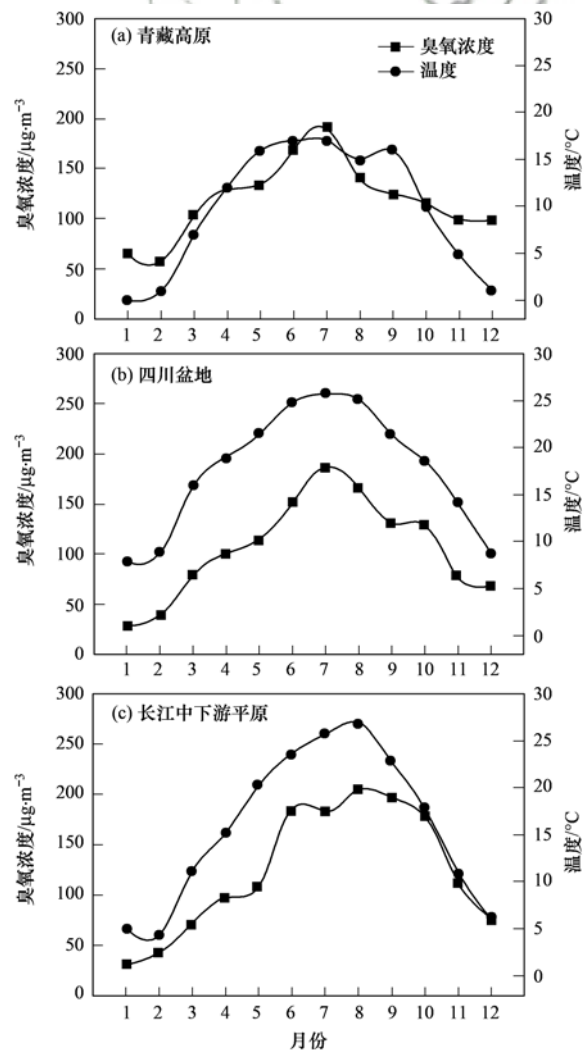


图6 O_3 浓度-温度对比

Fig. 6 Correlation between temperature and O_3 concentrations

程为: $y = 5.1229x + 69.385$, 其相关系数 (R^2) 为 0.7934; 图 6(b) 为四川盆地 O_3 浓度与温度的相关性对比, 从中可知, O_3 和温度都在 7 月时达到最大值, 其相关性方程为: $y = 7.2077x - 21.13$, 其相关系数 (R^2) 为 0.913; 图 6(c) 为长江中下游平原 O_3 浓度与温度的相关性对比, 从中可知, O_3 和温度都在 8 月时达到最大值, 其相关性方程为: $y = 7.0035x + 13.008$, 其相关系数 (R^2) 为 0.844. 以上分析可见, 3 种地形条件下的 O_3 浓度值和温度都呈现出了很好的正相关关系.

O_3 是在太阳辐射下通过光化学反应由一次污染物经过反应而生成的, 而温度则是随着太阳辐射的增多而升高的, 因 O_3 浓度和温度的年变化规律相似. 因此, O_3 浓度的变化和温度呈现出来的相关性为良好的正相关关系, 也就是说, 气温高能加快 O_3 的形成, 导致 O_3 浓度升高. 由太阳短波紫外辐射引起的温度变化, 在很大程度上直接影响着近地面层 O_3 浓度的改变^[34~36].

4 结论

(1) 2015 年全国 O_3 的浓度随着时间呈先增加后减少的单峰变化, 在 1 月 O_3 浓度最低, 在 7 月达到最高值, 整体变化呈单峰结构. 因此, 季节变化也非常明显, 我国 O_3 浓度的季节变化规律为: 夏季 > 秋季 > 春季 > 冬季.

(2) 从全国各地区的 O_3 浓度变化情况来看, 全国 O_3 浓度变化表现为华北地区, 华东地区和华南地区 O_3 污染较为严重, 而西北和西南地区的情况相对较好.

(3) O_3 浓度和经纬度的变化关系为: 不同的纬度对 O_3 浓度的变化趋势有很大的影响, 且纬度越高, O_3 的单峰结构越明显, 而不同的经度对 O_3 浓度的变化趋势的影响则不是很大.

(4) O_3 浓度和地形的变化关系为: 地形的变化和海拔高度的不同会对 O_3 浓度的变化产生一定的影响, 但是影响并不是非常明显, 和其他影响因子比起来可以忽略不计.

(5) O_3 浓度和温度变化存在很好的正相关的关系, O_3 浓度会随着温度的升高而增加, 随着温度的降低而减少.

参考文献:

- [1] Vingarzan R. A review of surface ozone background levels and trends[J]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38**(21): 3431-3442.
- [2] Xu X, Lin W, Wang T, *et al.* Long-term trend of surface ozone at a regional background station in eastern China 1991-2006: enhanced variability[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 2008, **8**(10): 2595-2607.
- [3] Schipa I, Tanzarella A, Mangia C. Differences between weekend and weekday ozone levels over rural and urban sites in Southern Italy[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009, **156**(1-4): 509-523.
- [4] Kannari A, Ohara T. Theoretical implication of reversals of the ozone weekend effect systematically observed in Japan[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2010, **10**(14): 6765-6776.
- [5] Pulikesi M, Rayudu V N, Ramamurthi V, *et al.* Weekend-Weekday differences in near-surface ozone concentrations in Chennai, South India[J]. *International Journal of Environment and Waste Management*, 2009, **4**(1-2): 213-224.
- [6] 姚青, 韩素芹, 蔡子颖, 等. 2012 年夏季天津城区 BTEX 污染特征与臭氧潜势分析[J]. *中国环境科学*, 2013, **33**(5): 793-798.
Yao Q, Han S Q, Cai Z Y, *et al.* The diurnal variation and ozone production potential of BTEX in Tianjin in the summer of 2012[J]. *China Environmental Science*, 2013, **33**(5): 793-798.
- [7] 易睿, 王亚林, 张殷俊, 等. 长江三角洲地区城市臭氧污染特征与影响因素分析[J]. *环境科学学报*, 2015, **35**(8): 2370-2377.
Yi R, Wang Y L, Zhang Y J, *et al.* Pollution characteristics and influence factors of ozone in Yangtze River Delta[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2015, **35**(8): 2370-2377.
- [8] 邓雪娇, 周秀骥, 吴兑, 等. 珠江三角洲大气气溶胶对地面臭氧变化的影响[J]. *中国科学: 地球科学*, 2011, **41**(1): 93-102.
Deng X J, Zhou X J, Wu D, *et al.* Effect of atmospheric aerosol on surface ozone variation over the Pearl River Delta region[J]. *Science China Earth Sciences*, 2011, **54**(5): 744-752.
- [9] Zhang Y N, Xiang Y R, Chan L Y, *et al.* Procuring the regional urbanization and industrialization effect on ozone pollution in Pearl River Delta of Guangdong, China[J]. *Atmospheric Environment*, 2011, **45**(28): 4898-4906.
- [10] 张立杰, 张丽, 李磊, 等. 深圳大运会期间一次光化学污染事件成因分析[J]. *环境监控与预警*, 2013, **5**(2): 10-14.
Zhang L J, Zhang L, Li L, *et al.* Causes analysis of a photochemical pollution event during Shenzhen Universiade[J]. *Environmental Monitoring and Forewarning*, 2013, **5**(2): 10-14.
- [11] 马志强, 孟燕军, 林伟立. 气象条件对北京地区一次光化学烟雾与霾复合污染事件的影响[J]. *气象科技进展*, 2013, **3**(2): 59-61.
Ma Z Q, Meng Y J, Lin W L. Influence of meteorological factors on an episode of photochemical fog and haze in Beijing[J]. *Advances in Meteorological Science and Technology*, 2013, **3**(2): 59-61.
- [12] 沈利娟, 李莉, 吕升, 等. 2013 年夏季嘉兴市一次光化学事件的观测分析[J]. *环境科学*, 2014, **35**(5): 1662-1670.
Shen L J, Li L, Lv S, *et al.* Observation of a photochemical event in Jiaxing during summer 2013[J]. *Environmental Science*, 2014, **35**(5): 1662-1670.
- [13] 李浩, 李莉, 黄成, 等. 2013 年夏季典型光化学污染过程中长三角典型城市 O_3 来源识别[J]. *环境科学*, 2015, **36**(1):

- 1-10.
- Li H, Li L, Huang C, *et al.* Ozone source apportionment at urban area during a typical photochemical pollution episode in the summer of 2013 in the Yangtze River Delta[J]. *Environmental Science*, 2015, **36**(1): 1-10.
- [14] 洪盛茂, 焦荔, 何曦, 等. 杭州市区大气臭氧浓度变化及气象要素影响[J]. *应用气象学报*, 2009, **20**(5): 602-611.
- Hong S M, Jiao L, He X, *et al.* The Variation of ozone concentrations in urban districts of Hangzhou and their relationship with meteorological factors[J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2009, **20**(5): 602-611.
- [15] Affre C, Carrara A, Lefebvre F, *et al.* Aircraft measurement of ozone turbulent flux in the atmospheric boundary layer [J]. *Atmospheric Environment*, 1999, **33**(10): 1561-1574.
- [16] 唐孝炎, 张远航, 邵敏. 大气环境化学[M]. (第二版). 北京: 高等教育出版社, 2006. 102-110.
- Tang X Y, Zhang Y H, Shao M. *Atmospheric environmental chemistry* (2nd ed.) [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006. 102-110.
- [17] 环境保护部. 2015 年中国环境状况公报[R]. 2016.
- [18] 刘光孟, 汪云甲, 王允. 反距离权重插值因子对插值误差影响分析[J]. *中国科技论文*, 2010, **5**(11): 879-884.
- Liu G M, Wang Y J, Wang Y. Impact of inverse distance weighted interpolation factors on interpolation error [J]. *Sciencepaper Online*, 2010, **5**(11): 879-884.
- [19] GB 3095-2012, 环境空气质量标准[S].
- [20] 彭丽, 林云萍, 周广强, 等. 我国北方地区对流层中下层臭氧收支[J]. *应用气象学报*, 2009, **20**(6): 665-672.
- Peng L, Lin Y P, Zhou G Q, *et al.* Ozone budget in the lower and middle troposphere over North China[J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2009, **20**(6): 665-672.
- [21] 陶玉龙. 青藏高原地区大气臭氧时空变化及其温度响应研究[D]. 长春: 吉林大学, 2010.
- Tao Y L. Study on spatio-temporal variation of ozone above Tibetan Plateau and its effect on the temperatures [D]. Changchun: Jilin University, 2010.
- [22] 王宇骏, 黄新雨, 裴成磊, 等. 广州市近地面臭氧时空变化及其生成对前体物的敏感性初步分析[J]. *安全与环境工程*, 2016, **23**(3): 83-88.
- Wang Y J, Huang X Y, Pei C L, *et al.* Spatial-temporal variations of ground-level ozone and preliminary analysis on the sensitivity of ozone formation to precursors in Guangzhou City [J]. *Safety and Environmental Engineering*, 2016, **23**(3): 83-88.
- [23] 刘姝岩. 重霾天气气溶胶辐射效应对近地面臭氧浓度的影响[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2016.
- Liu S Y. Impacts of aerosol radiation effect on surface ozone during heavy haze events [D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology, 2016.
- [24] 乜虹, 牛生杰, 王治邦, 等. 青藏高原清洁地区近地面层臭氧的特征分析[J]. *干旱气象*, 2004, **22**(1): 1-7.
- Nie H, Niu S J, Wang Z B, *et al.* Characteristic analysis of surface ozone over clean area in Qinghai-Xizang Plateau [J]. *Arid Meteorology*, 2004, **22**(1): 1-7.
- [25] 周秀骥, 李维亮. 中国地区大气臭氧变化及其对气候环境的影响[J]. *中国气象科学研究院年报*, 1997, (1): 9-12.
- [26] 安俊琳. 北京大气臭氧浓度变化特征及其形成机制研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2007.
- An J L. Study on the variation characteristics of surface ozone concentrations and its production in Beijing [D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology, 2007.
- [27] 张勇, 陈良富, 柳钦火, 等. 日照时间的地形影响与空间尺度效应[J]. *遥感学报*, 2005, **9**(5): 521-530.
- Zhang Y, Chen L F, Liu Q H, *et al.* Topographic and spatial-scaling effects on the sunlit time of the different terrains [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2005, **9**(5): 521-530.
- [28] 单文坡. 大气臭氧浓度变化规律及相关影响因素研究[D]. 济南: 山东大学, 2006.
- Shan W P. Study on the variation characteristics of surface ozone concentrations and their impact factors [D]. Jinan: Shandong University, 2006.
- [29] 中华人民共和国全国图(1:10000000)(新编竖版)[M]. 北京: 中国地图出版社, 2013.
- [30] 天气网. 丹东历史天气资料[EB/OL]. <http://lishi.tianqi.com/dandong/index.html>.
- [31] 陈世俭, 童俊超, Kobayashi K, 等. 气象因子对近地面层臭氧浓度的影响[J]. *华中师范大学学报(自然科学版)*, 2005, **39**(2): 273-277.
- Chen S J, Tong J C, Kobayashi K, *et al.* Influences of the meteorological factors on the ozone concentration near the ground [J]. *Journal of Central China Normal University (Natural Sciences)*, 2005, **39**(2): 273-277.
- [32] 张莹. 中国臭氧总量 30 a 时空变化以及近地面臭氧浓度气象要素影响研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2014.
- Zhang Y. Variation of total ozone over China for 30 years and meteorological factors on ozone concentrations near the ground [D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology, 2014.
- [33] 陈魁, 郭胜华, 董海燕, 等. 天津市臭氧浓度时空分布与变化特征研究[J]. *环境与可持续发展*, 2010, **35**(1): 17-20.
- Chen K, Guo S H, Dong H Y, *et al.* Study on the space-time distribution and change characteristic of ozone concentration in Tianjin [J]. *Environment and Sustainable Development*, 2010, **35**(1): 17-20.
- [34] 叶芳, 安俊琳, 王跃思, 等. 北京近地层 O₃、NO_x、CO 及相关气象因子的分析[J]. *生态环境学报*, 2008, **17**(4): 1425-1432.
- Ye F, An J L, Wang Y S, *et al.* Analysis of O₃, NO_x, CO and correlation meteorological factor at the ground layer in Beijing [J]. *Ecology and Environment*, 2008, **17**(4): 1425-1432.
- [35] 任丽红, 胡非, 王伟. 北京夏季 O₃ 垂直分布与气象因子的相关研究[J]. *气候与环境研究*, 2005, **10**(2): 166-174.
- Ren L H, Hu F, Wang W. A study of correlations between O₃ concentration and meteorological factors in summer in Beijing [J]. *Climatic and Environmental Research*, 2005, **10**(2): 166-174.
- [36] 刘新春, 钟玉婷, 何清, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地近地面臭氧浓度变化特征及影响因素分析[J]. *中国沙漠*, 2013, **33**(2): 626-633.
- Liu X C, Zhong Y T, He Q, *et al.* The variation characteristics and influencing factors of surface ozone concentration in the Taklimakan desert hinterland [J]. *Journal of Desert Research*, 2013, **33**(2): 626-633.

CONTENTS

Regional Transport Matrix Study of PM _{2.5} in Jingjinji Region, 2015	WANG Yan-li, XUE Wen-bo, LEI Yu, <i>et al.</i> (4897)
Effect of Atmospheric Haze Based on Multi-source Remote Sensing Data Considering the Size Effect of Landscape Sources and Sinks	XU Kai, YU Tian-tian, SUN Jiao-jiao, <i>et al.</i> (4905)
Space-Time Estimations and Mapping of PM _{2.5} Fine Particulates Based on Multi-source Data	XIAO Lu, LANG Yi-chao, XIA Lang, <i>et al.</i> (4913)
Exposure Level of Population and Economy in Zhejiang Province Considering the Background of PM _{2.5} in East China	YU Zhen-yan, GAO Da-wei, LI Zheng-quan, <i>et al.</i> (4924)
Aerosol Chemical Characteristics for Different Air Pollution Levels in North Suburban Nanjing	ZHANG Cheng, YU Xing-na, AN Jun-lin, <i>et al.</i> (4932)
Seasonal Variation of Carbon Fractions in PM _{2.5} in Heze	LIU Ze-jun, WU Jian-hui, ZHANG Yu-fen, <i>et al.</i> (4943)
Characteristics and Source Apportionment of Water-soluble Inorganic Ions in Road Dust PM _{2.5} in Selected Cities in Liaoning Province	ZHANG Wei, JI Ya-qin, ZHANG Jun, <i>et al.</i> (4951)
Characteristics of the Size Distribution of Water-soluble Ions During a Heavy Pollution Episode in the Winter in Tianjin	YAO Qing, LIU Zi-rui, HAN Su-qin, <i>et al.</i> (4958)
Physico-chemical Characteristic Analysis of PM _{2.5} in the Highway Tunnel in the Plateau City of Kunming	WANG Cheng-hui, YAN Kun, HAN Xin-yu, <i>et al.</i> (4968)
Characteristics Analysis of the Surface Ozone Concentration of China in 2015	DUAN Xiao-tong, CAO Nian-wen, WANG Xiao, <i>et al.</i> (4976)
Effects of Different Precious Metal Loads of CDPF on Characteristics of VOCs Emissions from a Diesel Bus	LOU Di-ming, ZHANG Zi-jun, LIU Ji-yue, <i>et al.</i> (4983)
Influence of ENSO Events on the Hydrogen ($\delta^2\text{H}$) and Oxygen ($\delta^{18}\text{O}$) Isotopic Values of Precipitation in Shanghai	DONG Xiao-fang, YANG Hua-wei, ZHANG Luan, <i>et al.</i> (4991)
Deposition of Sulfur, Nitrogen and Mercury in Two Typical Forest Ecosystems in Southern China	CHENG Zheng-lin, LUO Yao, ZHANG Ting, <i>et al.</i> (5004)
Spatial and Temporal Variability of CO ₂ Emissions from the Xin'anjiang Reservoir	YANG Le, LI He-peng, SUN Bin-feng, <i>et al.</i> (5012)
Evaluation of Temporal and Spatial Variation Characteristics of Nutrients in Surface Sediment in the Three Gorges Reservoir Area	ZHUO Hai-hua, QIU Guang-sheng, ZHAI Wan-ying, <i>et al.</i> (5020)
Distribution of Different Mercury Species in the Waterbody at Sanmenxia Reservoir	CHENG Liu, MA Bing-juan, ZHOU Wei-li, <i>et al.</i> (5032)
Identification of Nitrate Sources and Transformation Processes in Midstream Areas; A Case in the Taizi River Basin	LI Yan-li, SUN Wei, YANG Zi-rui (5039)
Characteristics of Nitrogen Variation and Its Response to Rainfall; A Case Study in Wuxi Port at Taihu Lake Basin	LIAN Hui-shu, LIU Hong-bin, LI Xu-dong, <i>et al.</i> (5047)
Dynamics of the Water Quality in a Broad-leaf Evergreen Forest at Different Spatial Levels on Jinyun Mountain	MA Ming, SUN Tao, LI Ding-kai, <i>et al.</i> (5056)
Method of Improving the Water Quality of Polluted Rivers Based on the MIKE11 Model	XIONG Hong-bin, CHEN Xue, ZHANG Si-si (5063)
Distribution Characteristics and Risk Analysis of Antibiotic in the Groundwater in Beijing	CHEN Wei-ping, PENG Cheng-wei, YANG Yang, <i>et al.</i> (5074)
Characteristics of Carbon and Nitrogen in the Downstream Columnar Sediment of Maozhou River, Shenzhen	LING Jun-hong, ZHANG Yi-zhang, WANG Min-hao, <i>et al.</i> (5081)
Relative Importance of Factors Influencing Iron Release in Drinking Water Distribution Systems	LIU Ying, YU Ying, SHI Bao-you, <i>et al.</i> (5090)
Removal of High Concentration of Iron, Manganese and Ammonia Nitrogen from Low Temperature Groundwater Using Single Bio-filter	LI Dong, CAO Rui-hua, YANG Hang, <i>et al.</i> (5097)
Mechanism of Pre-ozonation Enhanced Coagulation on DON in the Secondary Effluent	LIU Bing, ZHENG Yu-ming, WANG Da-xiang, <i>et al.</i> (5106)
Base Activation of Peroxymonosulfate for the Degradation of Ciprofloxacin in Water	GE Yong-jian, CAI Xian-wei, LIN Han, <i>et al.</i> (5116)
MIL-88A@MIP Activated Persulfate for Targeted Degradation of Dibutyl Phthalate	WANG Jiu-mei, GUAN Ze-yu, WAN Jin-quan, <i>et al.</i> (5124)
Methane Cycle Anaerobic Membrane Bioreactor with Desulfurization for Treating High Sulfate Organic Wastewater at Normal Temperature	XU Ting, JIN Yan-qing, LI Yong (5132)
Simultaneous Recovery of Nutrients from Wastewater by Mesoporous MgO-loaded Natural Zeolite	CHENG Xue-jun, WANG Xue-jiang, WANG Hao, <i>et al.</i> (5139)
Phosphorus Removal Capacity of Domestic Wastewater Treated by a Modified CAST Process Under Different Operating Modes	MA Juan, WANG Jin, YU Xiao-jun, <i>et al.</i> (5146)
Realization of Shortcut Nitrification in the ABR-MBR Process Treating Domestic Wastewater	LÜ Liang, ZHAO Shi-hui, WEI Jia-min, <i>et al.</i> (5154)
Substrate Inhibition and Kinetic Characteristics of Marine Anaerobic Ammonium Oxidizing Bacteria Treating Saline Wastewater	ZHOU Tong, YU De-shuang, LI Jin, <i>et al.</i> (5162)
Effect of Free Ammonia on Ammonia Escape During an Ammonia Oxidation Process	SUN Hong-wei, YU Xue, YOU Yong-jun, <i>et al.</i> (5169)
Water Quality and Diversity of Denitrifier Community Structure of Typical Scenic Water Bodies in Xi'an	KANG Peng-liang, HUANG Ting-lin, ZHANG Hai-han, <i>et al.</i> (5174)
Start-up and Characteristics of the Microbial Community Structure of ANAMMOX	WANG Yao-qi, ZHANG Min, JIANG Ying, <i>et al.</i> (5184)
Fast Start-up and Performance of the CANON Process Based on a SBAF System and Evolution Properties of Microorganisms	YUE Xiu, LIU Zhu-han, YU Guang-ping, <i>et al.</i> (5192)
Enrichment of <i>Nitrospira</i> in Activated Sludge and Kinetic Characterization	YAO Qian, PENG Dang-cong, ZHAO Qiao-di, <i>et al.</i> (5201)
Effect of pH Value on Autotrophic Denitrification Process of Zero Valent Iron Substrate	ZHANG Ning-bo, LI Xiang, HUANG Yong (5208)
Effect of Seeding Single/Mixed Sludge on Rapid Start-up of an ANAMMOX Reactor	ZHANG Ze-wen, LI Dong, ZHANG Jie, <i>et al.</i> (5215)
Comparison of Start-up and Stable Performance of Nitrification in Activated Sludge and Biofilm Processes in a SBR	SUN Yi-qi, BIAN Wei, WANG Meng, <i>et al.</i> (5222)
Long-term Impacts of TiO ₂ Nanoparticles on the Stability of an Anaerobic Granular Sludge Bioreactor	LI Hui-ting, CUI Fu-yi (5229)
Composition and Distribution of Antibiotics in Soils with Different Land Use Types in a Typical Peri-urban Area of the Yangtze River Delta	ZHAO Fang-kai, CHEN Li-ding, YANG Lei, <i>et al.</i> (5237)
Distribution of Phosphorus in Soil Profiles after Continuous Application of Different Fertilizers	ZHANG Tian, XU Hao, RU Shu-hua, <i>et al.</i> (5247)
Occurrence of Organophosphate Esters in Soils of the Three Gorges Reservoir	HE Ming-jing, YANG Ting, YANG Zhi-hao, <i>et al.</i> (5256)
Pollution Characteristics, Source Analysis and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Soils Surrounding a Municipal Solid Waste Incineration Plant in Shanghai	GUO Yan-hai, SUN Xu-chao, ZHANG Shi-bing, <i>et al.</i> (5262)
Comparison of Characteristics and Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Different Environmental Media in the Urban Area of Daqing City	SONG Ning-ning, FENG Jia-shen, YU Yang, <i>et al.</i> (5272)
Magnetic Response of Heavy Metal Pollution in Playground Dust of an Industrial Area	YANG Meng, LI Hui-ming, LI Feng-ying, <i>et al.</i> (5282)
Distribution Characteristics and Health Risk for Heavy Metals in Vegetables Near the Industrial Areas in Shanghai	ZHOU Ya, BI Chun-juan, ZHOU Xiao-xiao, <i>et al.</i> (5292)
Impacts of Silicon Fertilizer as Base Manure on Cadmium Bioavailability in Soil and on Cadmium Accumulation in Rice Plants	GAO Zi-xiang, ZHOU Hang, YANG Wen-tao, <i>et al.</i> (5299)
Uptake and Volatilization of Gaseous Elemental Mercury by Paddy Rice	SHANG Shuai, TIAN Pei, JIANG Yu, <i>et al.</i> (5308)
Long Term Variations of Ozone Concentration of in a Winter Wheat Field and Its Loss Estimate Based on Dry Matter and Yield	ZHAO Hui, ZHENG You-fei, LI Shuo, <i>et al.</i> (5315)
Control Effect of Side Deep Fertilization with Slow-release Fertilizer on Ammonia Volatilization from Paddy Fields	HOU Peng-fu, XUE Li-xiang, YU Ying-liang, <i>et al.</i> (5326)
Effects of Biochar and Organic Fertilizer on Saline-alkali Soil N ₂ O Emission in the North China Plain	SHI Yu-long, LIU Xing-ren, GAO Pei-ling, <i>et al.</i> (5333)
Flux Characteristics of CO ₂ , CH ₄ , and N ₂ O and their Influencing Factors in Different Types of Ditches on the Chengdu Plain	FENG Xiang-rong, DENG Ou-ping, DENG Liang-ji, <i>et al.</i> (5344)
Review of CO ₂ and CH ₄ Emissions from Rivers	WANG Xiao-feng, YUAN Xing-zhong, CHEN Huai, <i>et al.</i> (5352)