

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心
■ 出版 科学出版社



2020

Vol.41 No.8
第41卷 第8期

目次

首都重大活动与空气重污染应急减排措施效果对比分析	钟焱盛, 周颖, 程水源, 王晓琦, 邵玄逸 (3449)
基于天津市在线数据评估 ISORROPIA-II 模式结果及气溶胶 pH 的影响因素	高洁, 史旭荣, 卫昱婷, 宋少洁, 史国良, 冯银厂 (3458)
餐饮源有机颗粒物排放特征	李源遽, 吴爱华, 童梦雪, 栾胜基, 李鹭, 胡敏 (3467)
华中地区黄冈市一次重度污染期间 PM _{2.5} 中 12 种微量元素特征及来源解析	陈展乐, 田倩, 毛瑶, 刘威杰, 石明明, 程钺, 胡天鹏, 邢新丽, 祁士华, 胡金旭 (3475)
艾比湖地区气溶胶光学特性分析	张喆, 丁建丽, 王瑾杰 (3484)
天津市冬季重污染二次有机化学污染特征及 VOCs 对 SOA 生成潜势	徐虹, 唐迦, 肖致美, 高璟赞, 杨宁, 李立伟, 郑乃源, 陈魁, 邓小文 (3492)
郑州市某城区冬季不同污染水平大气 VOCs 特征及源解析	李一丹, 尹沙沙, 张瑞芹, 于世杰, 杨健, 张栋 (3500)
长江三角洲 2010 ~ 2018 年生物质燃烧中等挥发性有机物 (IVOCs) 排放清单	朱永慧, 王倩, 黄凌, 殷司佳, 李莉, 王杨君 (3511)
北方常见绿化树种 BVOCs 排放特征及其与光合作用参数的相关性	许燕, 李双江, 袁相洋, 冯兆忠 (3518)
广州地区秋季不同站点类型地面臭氧变化特征与影响因子	高平, 庄立跃, 王龙, 陈瑜萍, 闫慧, 沈劲, 范丽雅, 叶代启 (3527)
泰安市大气臭氧污染特征及敏感性分析	李凯, 刘敏, 梅如波 (3539)
有色冶炼园区道路扬尘中重金属污染特征及健康风险评价	冯于耀, 史建武, 钟曜谦, 韩新宇, 封银川, 任亮 (3547)
西安市高校校园地表灰尘重金属污染来源解析	樊馨瑶, 卢新卫, 刘慧敏, 秦青 (3556)
超低排放高湿度气总颗粒物监测方法及燃气电厂实际测试	胡月琪, 颜旭, 孔川, 张虎, 郭晓东 (3563)
厦门市船舶控制区大气污染物排放清单与污染特征	王坚, 黄压, 刘艳英, 陈森阳, 吴艳聪, 何月云, 杨心怡 (3572)
基于交通流的成都市高分辨率机动车排放清单建立	潘玉瑾, 李媛, 陈军辉, 石嘉诚, 田红, 张季, 周敬, 陈霞, 刘政, 钱骏 (3581)
基于无人机多光谱影像和 OPT-MPP 算法的水质参数反演	黄昕晰, 应晗婷, 夏凯, 冯海林, 杨垠晖, 杜晓晨 (3591)
不同水体分层对沉积物间隙水氮素垂向分布影响: 以三峡水库和小湾水库为例	刘静思, 朱晓声, 胡子龙, 张思思, 杨正健, 纪道斌, 刘德富 (3601)
城市河道表层水及沉积物中微塑料的污染现状与污染行为	赵昕, 陈浩, 贾其隆, 沈忱思, 朱奔, 李磊, 聂云汉, 叶建锋 (3612)
上海河道浮游植物群落结构时空变化特征及影响因素分析	许志, 陈小华, 沈根祥, 朱英, 钱晓雍, 张心良, 张卫, 胡双庆, 白玉杰 (3621)
过氧化钙 (CaO ₂) 联合生物炭对河道底泥的修复	李雨平, 姜莹莹, 刘宝明, 阮文权, 缪恒锋 (3629)
基于双同位素 ($\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3^-$ - $\delta^{18}\text{O}-\text{NO}_3^-$) 和 IsoSource 模型的岩溶槽谷区地下水硝酸盐来源的定量示踪	徐璐, 蒋勇军, 段世辉, 何瑞亮 (3637)
三峡库区规模化顺坡沟壑果园氮、磷输出过程及流失负荷	严坤, 王玉宽, 刘勤, 徐佩, 闫洋洋 (3646)
高度城镇化地区城市小区降雨径流污染特征及负荷估算	高斌, 许有鹏, 陆苗, 林芷欣, 徐兴 (3657)
Fe@GOCS 的制备及其对水中 As(III) 的吸附	赵超然, 单慧媚, 曾春芽, 张进贤, 彭三曦 (3665)
微塑料对水中铜离子和四环素的吸附行为	薛向东, 王星源, 梅雨晨, 庄海峰, 宋亚丽, 方程冉 (3675)
多孔填料特性对生物膜形成影响	江宇勤, 厉炯慧, 方治国 (3684)
硝化生物膜系统对低温的适应特性: MBBR 和 IFAS	李韧, 于莉芳, 张兴秀, 戴子承, 滑思思, 彭党聪 (3691)
单质硫自养短程反硝化耦合厌氧氨氧化强化脱氮	方文烨, 李祥, 黄勇, 郭超然, 胡羽婷, 陶仁杰 (3699)
间歇梯度曝气的生活污水好氧颗粒污泥脱氮除磷	张玉君, 李冬, 李帅, 张杰 (3707)
基于不同废污泥源的短程反硝化快速启动及稳定性	张星星, 王超超, 王焱, 徐乐中, 吴鹏 (3715)
基于 AHP-PROMETHEE II 法的鸟粪石磷回收污泥预处理方案决策	刘晓蕾, 李安婕 (3725)
零价铁对厌氧消化过程中氨氮抑制解除的影响	刘吉宝, 牛雨彤, 郁达伟, 谭颖峰, 左壮, 魏源送 (3731)
基于厌氧膜生物反应器的剩余污泥-餐厨垃圾厌氧共消化性能	戴金金, 牛承鑫, 潘阳, 陆雪琴, 甄广印, 郑朝辉, 张瑞良, 何欣昱 (3740)
亚剂量抗生素诱导抗性基因水平迁移	袁其懿, CHEN Hong-jie, Laurence Haller, 何义亮 (3748)
四环素胁迫对 <i>Shigella flexneri</i> 细菌四环素抗性基因抗性表达的影响过程	高品, 阮晓慧, 邱文婕, 薛罡, 钱雅洁 (3758)
羟胺对氨氧化菌和亚硝酸盐氧化菌的竞争性选择	乔昕, 王博, 郭媛媛, 彭永臻 (3765)
高温冲击对亚硝酸盐氧化过程中微生物菌群结构影响	侯晓薇, 牛永健, 李维维, 王光杰, 孙洪伟 (3773)
微生物种间相互作用产生锰氧化的普适性及其潜在应用	宁雪, 梁金松, 柏耀辉, 廖恺玲俐, 刘会娟, 曲久辉 (3781)
三亚河红树林表层沉积物中好氧氨氧化微生物的分布特征及潜在硝化速率	罗晴, 甄毓, 彭宗波, 贺惠 (3787)
臭氧污染对水稻生长、产量及矿质金属元素含量的影响	方笑堃, 罗小三, 张丹, 吴礼春, 邱丹, 陈志炜, 赵朕 (3797)
改变碳输入对新疆天山雪岭云杉林土壤呼吸的短期影响	邵康, 贡璐, 何学敏, 陈文静, 张雪妮, 朱海强 (3804)
有机无机肥配施对不同程度盐渍土 N ₂ O 排放的影响	周慧, 史海滨, 郭珈玮, 张文聪, 王维刚 (3811)
原位电阻热脱附土壤升温机制及影响因素	葛松, 孟宪荣, 许伟, 施维林 (3822)
羽序灯心草作为酸性矿山废弃地先锋植物潜力	黄建洪, 伏江丽, 严鑫睿, 尹凤, 田森林, 宁平, 李英杰 (3829)
滴灌方式和生物质炭对温室土壤矿质态氮及其微生物调控的影响	蔡九茂, 刘杰云, 邱虎森, 吕谋超, 周新国 (3836)
棉秆炭调控对碱性镉污染水稻根际土壤真菌群落结构和功能的影响	刘师豆, 韩耀光, 朱新萍, 吴相南 (3846)
不同水分管理模式联合叶面喷施硅肥对水稻 Cd 累积的影响	魏宾斌, 周航, 刘佳炜, 张竞颐, 黄芳, 霍洋, 胡雨丹, 辜娇峰, 刘俊, 廖柏寒 (3855)
螯合剂 GLDA 对象草修复镉污染农田的影响	覃建军, 唐盛爽, 蒋凯, 黄敬, 侯红波, 龙坚, 彭佩钦 (3862)
种植业面源污染防控技术发展历程分析及趋势预测	俞映惊, 杨林章, 李红娜, 朱昌雄, 杨祺, 薛利红 (3870)
《环境科学》征订启事 (3636) 《环境科学》征稿简则 (3764) 信息 (3538, 3628, 3724)	

艾比湖地区气溶胶光学特性分析

张喆^{1,2}, 丁建丽^{1,2*}, 王瑾杰^{1,2}

(1. 新疆大学资源与环境科学学院, 智慧城市与环境建模自治区普通高校重点实验室, 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046)

摘要: 精河县气溶胶光学特性的定量评估是理解艾比湖盐尘传输过程的关键。本文利用 2019 年精河县 CE-318 太阳光度计站点观测资料, 分析了气溶胶光学厚度(AOD)和 Angström 波长指数(α)的变化特征。结果表明 AOD 日变化呈单峰曲线, 与 α 呈反向变化特征; 气溶胶粒子浓度和主控模态具有明显的季节性差异, 与夏、秋季相比, 春季 AOD 较高且变化幅度剧烈, 粗粒子气溶胶占主导地位, 粒子粒径和变化幅度较大; AOD 和 α 呈负相关关系, 从春季到秋季, 气溶胶逐渐从粗模态向细模态过渡; 与夏季相比, 春季局地气溶胶对风速、风向和相对湿度的变化较为敏感; 温度不是导致局地气溶胶变化的内在因素, 但与气溶胶粒子扩散能力成正比; 非采暖期, 精河县 AOD 高值主要受粗粒子为主的沙尘气溶胶的影响, 小颗粒的气溶胶的增加以及气溶胶吸湿增长都不是造成该地区 AOD 增加的主要原因。

关键词: 太阳光度计; 气溶胶光学厚度(AOD); Angström 波长指数; 艾比湖; 气溶胶光学特性

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2020)08-3484-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.202002096

Aerosol Optical Properties over the Ebinur Region

ZHANG Zhe^{1,2}, DING Jian-li^{1,2*}, WANG Jin-jie^{1,2}

(1. Key Laboratory of Smart City and Environment Modelling of Higher Education Institute, College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 2. Key Laboratory of Oasis Ecosystem Ministry of Education, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract: The key to understanding the transport and deposition process of salt dust to Ebinur Lake involves the quantitative evaluation of the aerosol concentration and characteristics in Jinghe County. Based on the data of the CE-318 sun photometer station in Jinghe County during 2019, the characteristics of the aerosol optical depth (AOD) and Angström exponent (α) were analysed. The results showed that the daily variation of the AOD in Jinghe County was a single peak curve that increased or decreased monotonously in the early/late peak period and peaked at 12:00-14:00, which was opposite to the trend of the α . There were obvious seasonal differences in the aerosol concentration and dominant mode. The seasonal AOD was ranked as: spring (0.403 ± 0.282) > summer (0.222 ± 0.135) > autumn (0.218 ± 0.112), whereas α was ranked as: summer (1.339 ± 0.446) > autumn (1.116 ± 0.278) > spring (0.914 ± 0.269). During the spring, the range of the change in the AOD was more intense, the aerosol particle size was larger than that during the summer and autumn, and the range of the variation in the particle size was larger. There was a negative correlation between the AOD and α . During the spring and summer, the aerosol particle size varied over a wide range, and the composition was more complex. With the decrease of the α , the AOD tended to increase; during the autumn, the dominant aerosol mode (mainly fine particles) stabilized, and the AOD exhibited no obvious change with the α . From spring to autumn, aerosol gradually transited from a coarse to fine mode. Compared with the summer, local aerosols were more sensitive to the changes of the wind speed, wind direction, and relative humidity during the spring. The primary reason for the increase of the AOD during the spring was the main wind direction and the dust input brought by gale weather. Influenced by the soluble salt ions in the dust, the aerosol particles were able to undergo hygroscopic growth, but this was not the main reason for the high AOD. Temperature was not the internal factor for the change in the local aerosols; however, it was directly proportional to the diffusion ability of aerosol particles. Overall, the AOD of Jinghe County was primarily affected by dust aerosols. The increases in the amounts of small particles and aerosol moisture absorption were not the main reasons for the increase of the AOD in this area.

Key words: sun photometer; aerosol optical depth; Angström wavelength exponent; Ebinur Lake region; aerosol optical properties

气溶胶是指大气中直径在 $0.001 \sim 100 \mu\text{m}$ 的液体和固体微粒的总称^[1], 其可通过吸收/散射太阳的长、短波辐射, 影响地-气系统的能量收支^[2,3], 又可作为云凝结核影响云光学特性、云量及云寿命, 继而对区域降水产生影响^[4,5]. 受排放源、地理环境及人类活动等影响, 大气气溶胶在组成成分、时空分布方面有较强的异质性, 因此, 针对气溶胶浓度时空分布的了解和光学特性的准确估算, 是开展区域气溶胶环境和气候效应研究的重要前提^[6,7]. 气溶胶

光学厚度(aerosol optical depth, AOD)和 Angström 波长指数(α)是用以描述气溶胶光学特性的两个重要参数, AOD 是指沿辐射传输路径, 单位截面上所有吸收和散射物质产生的总削弱, 能反映出气溶胶浓度的纵向累计增长和水平空间分布, α 表征的是垂

收稿日期: 2020-02-15; 修订日期: 2020-02-28

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2018D01C035)

作者简介: 张喆(1988~), 女, 博士, 主要研究方向为干旱区环境遥感, E-mail: zhangzhe_0110@yeah.net

* 通信作者, E-mail: watarid@xju.edu.cn

直气柱内气溶胶质粒的谱分布,反映的是粒子尺度. 针对二者关系的深入讨论,在一定程度上能反映区域大气的污染程度和污染类型^[8,9],对了解区域气溶胶含量、确定气溶胶尺度和研究气溶胶气候效应等具有重要意义.

利用地基站点对大气气溶胶进行连续观测可以直接得到较为准确的气溶胶浓度和时间变化信息. 我国自 20 世纪 80 年代就开始利用太阳光度计进行气溶胶地基遥感观测研究,相关学者针对沙尘^[10~13]、生物燃烧^[14,15]和城市-工业气溶胶^[16~18]光学特性研究做了大量工作,主要集中在利用全国多个站点评估不同区域 AOD 的量级,针对 AOD、 α 、粒子尺度谱分布和单次散射反照率等主要气溶胶光学参数,通过揭示各参数长时间序列的变化规律,达到深入了解各地区大气环境的目的^[19,20].

艾比湖是新疆境内最大的咸水湖. 近年来,在自然气候条件和人类活动的共同作用下,湖面持续萎缩造成大面积干涸湖底裸露,松散的湖底沉积物在阿拉山口大风作用下向下风向地区飘散,对广大尘降区域土壤、水源、植物和大气等生态环境平衡造成严重威胁^[21]. 受地形和人类活动共同影响,精河县是受艾比湖盐尘污染较为严重的地区^[22,23],另一方面,精河县作为向西开发开放的前沿地区、丝绸之路经济带核心区建设重要节点,其特殊的地理区位和综合交通枢纽地位,也使得人为污染物排放成为影响空气质量的重要因素.

近尘源区粉尘浓度和特性的定量评估是理解艾比湖盐尘传输、沉降和循环的关键. 本文利用太阳光度计时间序列观测资料,详细分析该地区 AOD 和 α 的日、月、季变化特征,针对 AOD 高值时段,探讨不同气象条件对 AOD 和 α 之间的关系的影响,通过加深该地区气溶胶特性的认识,了解盐尘源排放对本地气溶胶特性产生的影响,以期为进一步认识艾比湖盐尘气溶胶特点及其环境、气候效应提供参考.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

精河县位于新疆维吾尔自治区西北部的博尔塔拉蒙古自治州东部(81°46'~83°51'E、44°02'~45°10'N),属典型的北温带干旱荒漠型大陆性气候. 冬夏冷热悬殊,昼夜温差大,干燥少雨,蒸发量大,春季多风沙、浮尘天气. 日照时间长,年日照约 2 700 h,无霜期约 170 d,1 月平均气温 -15℃,7 月平均气温 26℃,极端最低气温为 -34℃,极端最高气温为 42℃;年平均降水量 102 mm^[24].

精河地区地形呈凹字形,地势南高北低,垂直高

度相差悬殊,地形与气溶胶空间分布特征基本一致(图 1). 南部为天山山区,中部为博尔塔拉河冲积平原,北部为艾比湖区. 艾比湖盐尘在迁移过程中大部分盐碱颗粒沉降在距离干涸湖底较近的精河地区. 自 20 世纪 90 年代以来,精河县浮尘天气平均达到 112 d,是 60 年代的 9 倍,每年降尘达 289 t·km⁻²^[25].

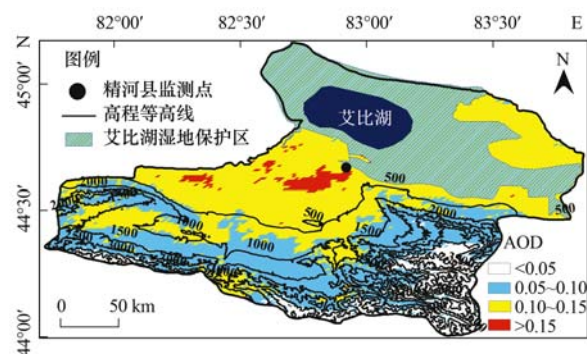


图 1 研究区概况示意

Fig. 1 Map of the study area

1.2 资料来源

CE318 太阳光度计为法国 CIMEL 公司生产的一种自动跟踪扫描的太阳光度计,可通过观测太阳、天空和地面的反射等信息来反映大气的特性^[26]. 仪器设于艾比湖流域精河县气象局楼顶(44.60°N, 82.87°E),海拔高度 406 m,周围无密集建筑物阻挡,视野开阔.

该仪器在可见近红外波段有 9 个光谱通道,可获取 340、380、440、500、675、870、936、1 020 和 1 640 nm 的 AOD 值,根据 Angström 波长指数(α)的计算方法[式(1)]:

$$\alpha = - \frac{\ln[AOD(\lambda_1)/AOD(\lambda_2)]}{\ln(\lambda_1/\lambda_2)} \quad (1)$$

式中, λ_1 和 λ_2 分别代表不同波长(nm); AOD(λ)为某一波长下的气溶胶光学厚度; α 代表 Angström 波长指数,其主要反映气溶胶组成中大小粒子的比例^[27]. α 值越小表示气溶胶分布中大粒子占优势, α 值越大则表示气溶胶分布中小粒子占优势.

太阳光度计数据处理结果包括 2 个质量等级: 1.5 级数据为没有做去云处理的数据,2.0 级数据为经过去云处理的数据. 本研究选用的是 2.0 级反演数据,根据气象划分标准将 3~5 月划分为春季,6~8 月为夏季,9~11 月为秋季,12~次年 2 月为冬季. 为避免矿石燃烧导致的人为气溶胶的影响,根据精河县实际供暖需求,筛选非供暖期(4~10 月)的观测数据用以气溶胶光学参数特征分析. 针对 AOD 高值时段(4 月和 7 月)逐小时匹配同时段气象数据,资料包括相对湿度、温度、风速和风向等.

2 结果与讨论

2.1 AOD 和 α 的日、月和季变化特征分析

气溶胶日变化主要受中尺度天气系统和局地地形的影响. 如图 2 所示, 精河县 AOD 呈单峰型, 与 α 呈反向变化特征. 北京时间 08:00 ~ 10:00 伴随着人类活动的开始, AOD 呈增加趋势, 12:00 ~ 14:00 达到峰值, 此时太阳辐射较强, 大气结构不稳定产生对流, 近地面气溶胶发生向上和水平输送, 甚至在辐射作用下发生二次气溶胶的生成反应. 在北京时间 09:30、12:30、14:00、16:30 和 18:30 AOD 多次出现波动, 相对应的 α 均表现出明显的谷值, 说明粒子尺度的变化是造成 AOD 波动的主要原因. 临近傍晚, 大气层再次趋于稳定, 边界层高度降低, 伴随着下班晚高峰, AOD 维持高位, 再此之后, 呈下降趋势.

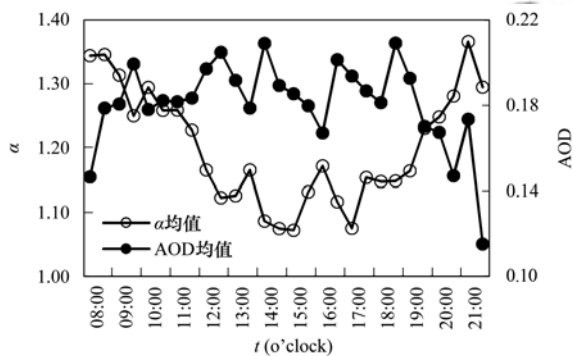


图 2 AOD 和 α 日变化

Fig. 2 Daily variation of the AOD and α

精河县气溶胶光学性质存在一定季节性差异 (图 3). AOD 月平均值 4 月最高, 为 0.46 ± 0.37 , 6 月最低, 为 0.15 ± 0.06 . 4 ~ 10 月 AOD 呈现明显下降趋势, 其中 7 月出现了小幅度的回升, 这可能是由于 7 月空气中具有较为充沛的水汽含量, 月平均相对湿度一年中最高, 因此在较高相对湿度的情况下, 气溶胶吸湿增长引起 AOD 的波动, 也有可能是在温度增高作用下, 空气对流引起近地面粉尘扩散, 受到粗粒子气溶胶输入的影响.

AOD 季节变化主要表现为春季 (0.40 ± 0.28) 大于夏季 (0.22 ± 0.14) 和秋季 (0.22 ± 0.11). 从图 4 中不同分位数变化可以看出, AOD 上下四分位数值在夏、秋相差不大, 在 0.26 ~ 0.31 和 0.13 ~ 0.14 之间; 春季 AOD 上下四分位数值和中位数数值远高于夏、秋季, 同时, AOD 的最大值也出现在春季, 四分位间距也是春季最高, 春、夏和秋季 AOD 变异系数分别为 69.98%、60.81% 和 51.38%, 说明精河县春季 AOD 的变化幅度较为剧烈.

α 季节变化主要表现为夏季 (1.34 ± 0.45) 和秋

季 (1.12 ± 0.28) 大于春季 (0.91 ± 0.27). α 最小值同样出现在 4 月, 为 0.77 ± 0.49 , 最大值出现在 6 月, 为 1.40 ± 0.29 . 除 4 月以外, 其余月份 α 均高于 1, 并且从 6 ~ 8 月 α 月均值变化范围很小, 在 1.28 ~ 1.39 之间, 说明该地区春季受沙尘影响明显, 其他季节主要以粒径较小的气溶胶粒子为主控模态. 其中, 5 月 α 为 1.05 ± 0.19 , 说明即便在尘暴发生较为频繁的春季, 气溶胶中混合了粗粒子模态的沙尘气溶胶, 但人口相对密集的城镇地区仍然以细粒子占据主导.

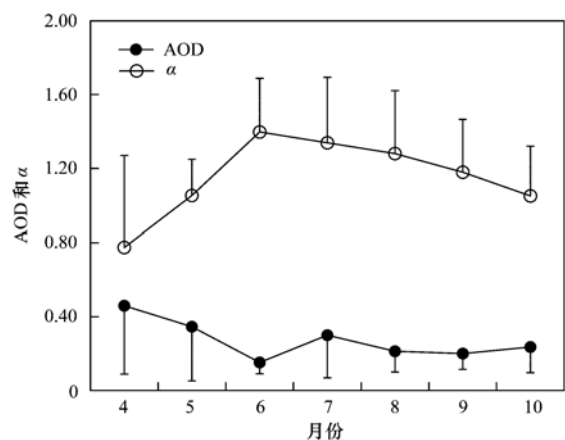


图 3 AOD 和 α 月平均值

Fig. 3 Monthly means of the AOD and α

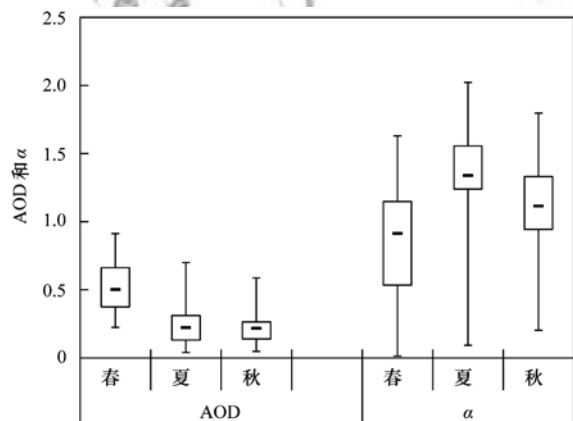


图 4 AOD 和 α 季节变化 Box-Plot

Fig. 4 Box plot of seasonal variations of the AOD and α

2.2 AOD 和 α 频率分布

由图 5 可见, 精河县 AOD 出现频率呈明显的单峰型分布特征, 较好地符合对数正态分布. 但不同季节, AOD 高频分布区间却有明显差异. 由最大出现频数统计得出该地区大气气溶胶的本底浓度范围, 春季 AOD 出现频率最高区间为 0.30 ~ 0.40, 占样本的 38.02%, 夏季 AOD 出现频率最高区间为 0.20 ~ 0.30, 占样本的 60.62%, 秋季 AOD 出现频率最高区间为 0.10 ~ 0.20, 占样本的 50.96%, 说明夏季和秋季平均浓度和本底浓度都较低, 而春季较高.

与 AOD 分布情况类似, α 的频率分布同样呈现出单峰分布特征和季节性差异. 春季 α 最高频区间为 0.60 ~ 0.70, 次高区间为 0.70 ~ 0.80, 分别占总样本的 15.79% 和 10.53%; 夏季和秋季 α 出现频率主要区间为 1.20 ~ 1.40 和 0.90 ~ 1.20, 分别占总样

本的 51.14% 和 40.86%, 说明精河县气溶胶粒子主控模态存在季节性差异, 春季大气气溶胶主控粒子粒径大于夏季和秋季, 且粒径变化幅度较大, 属于沙尘气溶胶类型, 夏季和秋季属于城市-工业型气溶胶类型.

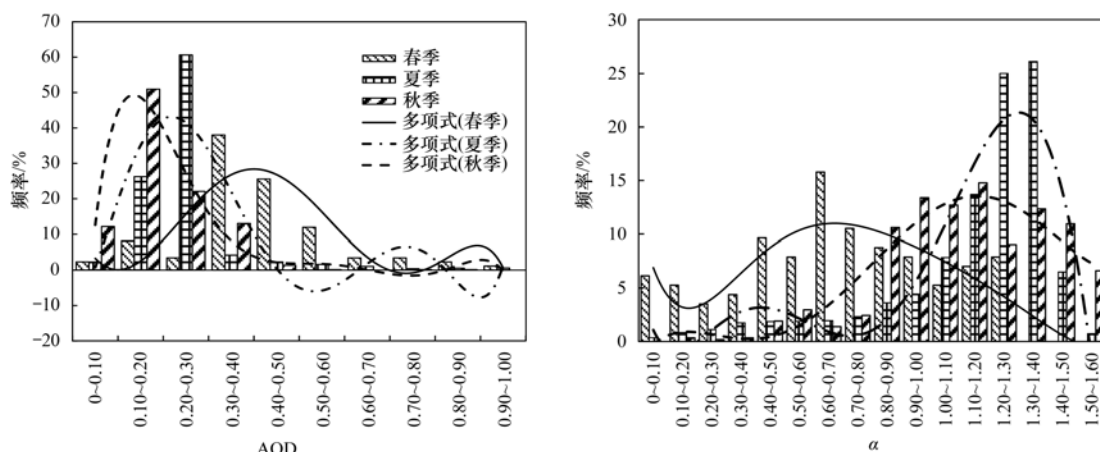


图5 AOD 和 α 的概率分布柱状图

Fig. 5 Frequency distribution of the AOD and α

2.3 AOD 与 α 的关系

图6为不同季节 AOD 和 α 的关系, 从中可以看出, AOD 和 α 存在较为明显的负相关关系. 整体而言, 气溶胶粒径变化范围比较大, 说明大气组成成分较为复杂; 随着 α 的减小, AOD 呈现增大趋势, 说明该地区粗粒子的增加是引起 AOD 高值的主要因素. 以 α 值为 0.50 和 1 作为划分节点, 将 α 划分为 3 种情况: 当 $\alpha > 1$, 则气溶胶以细模态形式存在; 当 $\alpha < 1$, 表示气溶胶主要以粗模态形式存在; 沙尘气溶胶一般为 $\alpha \leq 0.50$ [28].

春季, $\alpha \leq 0.50$ 、 $0.50 < \alpha < 1$ 和 $\alpha > 1$ 的样本数分别占总数的 16.72%、38.03% 和 45.24%, 说明该地区气溶胶存在不同组分的气溶胶粒子(细粒子、沙尘粒子等), 且粗粒子的比重较大; $\alpha > 1$ 时, AOD 主要集中分布在 0.20 左右, 说明细粒子气溶胶引起高污染现象的可能较小; $\alpha < 1$ 时, 气溶胶主要表现为粗颗粒, 对应的 AOD 分布范围集中在 0.30 ~ 0.60 范围内, 大粒径颗粒物对气溶胶垂直消光作用较为明显. 夏季, $\alpha \leq 0.50$ 、 $0.50 < \alpha < 1$ 和 $\alpha > 1$ 的样本数分别占总数的 11.03%、16.56% 和 72.41%, 该季节气溶胶主要以细粒子为主, 粗粒子的输入仍是引起局地 AOD 高值的主要原因; 和春、夏季相比, 秋季良好的自然植被和可能的自然降雪有效限制了粉尘的排放, AOD 随 α 变化无明显变化, $\alpha \leq 0.50$ 、 $0.50 < \alpha < 1$ 和 $\alpha > 1$ 的值分别占总数的 1.34%、19.56% 和 79.10%, 主控气溶胶模态稳定, 主要以细

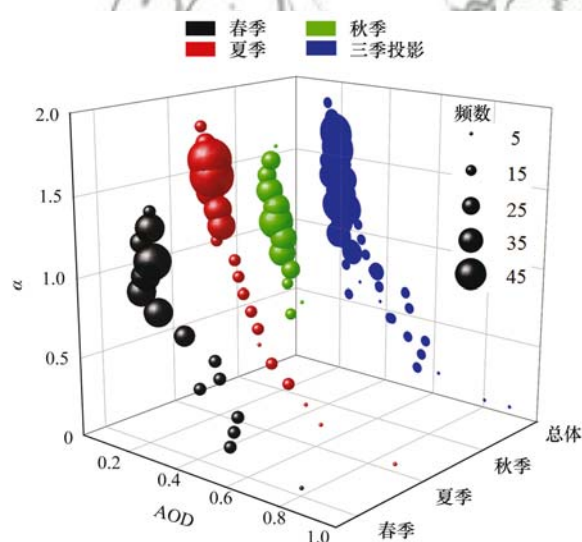


图6 不同季节 AOD 和 α 的关系

Fig. 6 Relationship between the AOD and α in different seasons

粒子为主.

大气对污染物扩散的稀释能力随着气象条件的不同而发生巨大的变化, 所以气象要素的变化也会影响 α 和 AOD 之间的关系. 本文选择对局地气溶胶污染有较大影响的气象因素(风向、风速、相对湿度和温度), 针对典型性的 AOD 高值时段 4 月和 7 月, 讨论气象要素对 α 和 AOD 之间关系的影响.

2.3.1 风向和风速

风速大小决定了污染物的扩散速度, 而风向则确定了污染物的输入与输出. 图7为不同风速(v)控制下 AOD 和 α 的关系. 春季, $v < 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, AOD 主要集中在 0.10 ~ 0.30 范围内, 此时 α 主要集中在

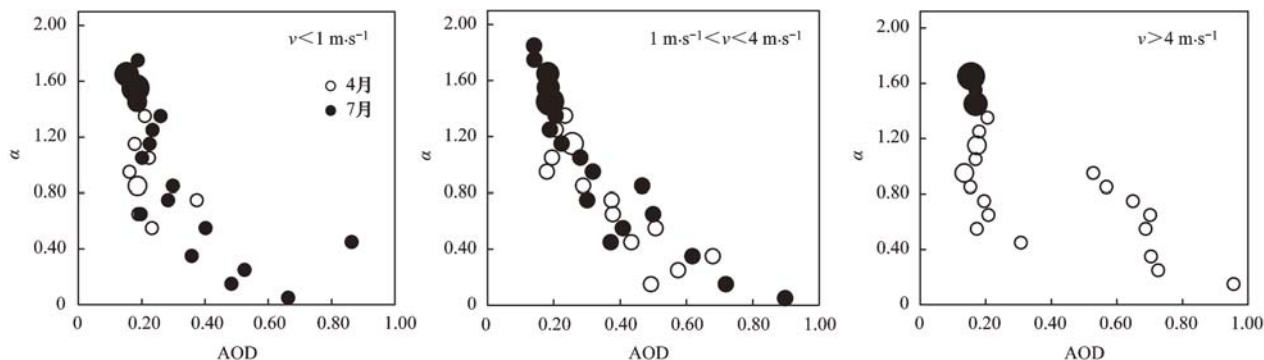
图 7 不同风速下 AOD 和 α 的关系

Fig. 7 Relationship between the Angström parameters and the AOD at different wind speed

0.60 ~ 1.30 范围内, AOD 和 α 之前无明显变化趋势; 当 $v > 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 随着粒子尺度的增大, AOD 也呈现明显的增大趋势; 当 $v > 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, AOD 呈现两极化分布, AOD 在 0.10 ~ 0.30 范围内, 对应的 $\alpha > 0.50$, 无明显变化趋势, 而 AOD > 0.50 区间范围内, 二者呈现负相关趋势, 表明在观测点周围存在强的沙尘源的情况下, 风速对局地气溶胶变化产生显著影响, 较大的风速一方面可引起粗粒子的输入导致 AOD 的增大, 另一方面, 过大的风速也会对局地气溶胶存在一定的稀释作用. 夏季, 当 $v < 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 气溶胶浓度和粒径变化范围比较大, AOD 在 0.10 ~ 0.90 范围内, α 在 0 ~ 1.80 范围内均有分布. 以 $\alpha \leq 0.50$ 和 $\alpha > 1$ 为划分界线发现, 当 $\alpha \leq 0.50$, AOD 分布范围集中在 0.40 ~ 0.90 之间, 当 $\alpha > 1$ 时, AOD 集中在 0.10 ~ 0.30 之间, AOD 与 α 呈负相关. 当 $v > 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, α 上升至 1.30 ~ 1.70 范围内, AOD 集中分布在 0.20 左右, 说明此时较大的风力对粗粒径粒子存在清除作用, 而小颗粒的气溶胶的增加不是造成该季节 AOD 增加的主要原因.

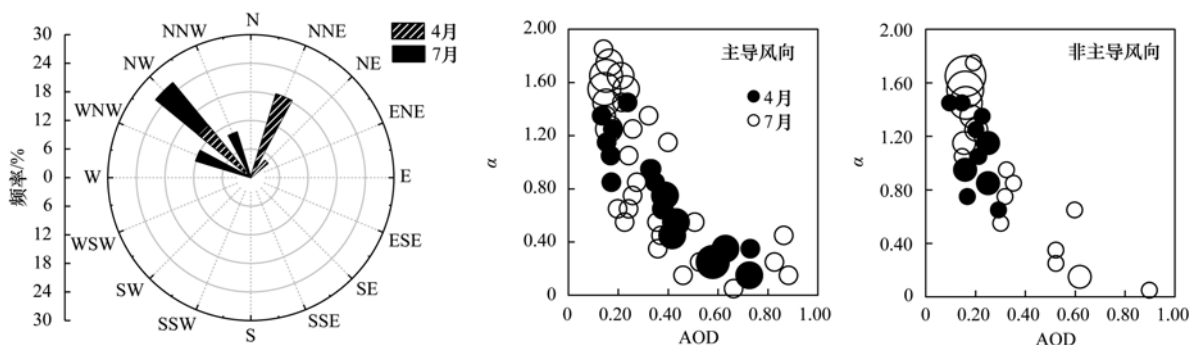
近尘源区风向对局地气溶胶变化同样重要. 阿拉山口大风主要以 NW 风向为主, 占总风向的 68.97%, 平均风速 $5.45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 最大风速 $20.45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 为盐尘灾害的发生提供了强有力的风力起尘条件. 在其影响下, 精河地区常年盛行西北偏北

风, 主导风向和风速存在季节性差异. 春季观测期间 NNE 和 NW 为主导风向, 占总风向的 37.10%, 平均风速 $1.92 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 最大风速 $8.31 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; 夏季观测期间主导风向以 NW 风为主, 占总风向的 47.83%, 平均风速 $1.72 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 最大风速 $7.21 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

图 8 为不同风向作用下 α 随 AOD 的变化. 对春季而言, 在主导风向较大风力作用下, AOD 随 α 减小而增大, 两者呈现明显的负相关关系, 此时 $\alpha \leq 0.50$ 、 $0.50 < \alpha < 1$ 和 $\alpha > 1$ 的样本数分别占总数的 46.07%、42.70% 和 5.62%, 说明此风向作用下带来大颗粒的粉尘输入导致 AOD 的增加; 非主导风向作用下, AOD 集中在 0.20 左右, $0.50 < \alpha < 1$ 和 $\alpha > 1$ 的样本数分别占总数的 43.13% 和 56.86%, 说明非主导风向对局地大气气溶胶浓度和颗粒有一定稀释作用. 夏季主导风向和非主导风向对 AOD 和 α 关系的影响没有明显差异, AOD 随 α 的减小呈增大趋势. α 在 0 ~ 1.80 范围内, AOD 在 0.10 ~ 0.90 范围内均有分布, 但 78.69% 都集中在 α 为 [1.20, 1.80] 和 AOD 为 [0.10, 0.30] 的范围内.

2.3.2 温度

温度对气溶胶光学特性的影响较为复杂. 直观看来, 观测期间气溶胶光学参数与温度无明显统计学关联 (图 9). 这是因为影响空气对流主要取决于温度的垂直结构, 随着温度的升高, 空气对流加剧,

图 8 不同风向下 AOD 和 α 的关系Fig. 8 Relationship between α and AOD in different wind directions

近地面气溶胶粒子浓度降低,空中粒子浓度升高.但利用地基光度计测量得到的 AOD 是垂直方向上的消光系数的积分,无法直观看出 AOD 和温度在垂直方向上的变化和关系.但通过对比春、夏两季 AOD 空间分布范围发现(图 10),AOD 范围夏季较春季明显扩大,这是因为温度会影响单个气溶胶粒子的布朗运动,由此导致的扩散能力与温度成正比;其次,夏季对流活动多,有利于底层气溶胶向上传输和水平输送,且温度和湿度较有利于气-粒转化,气溶胶吸湿后散射率增强,从而导致夏季气溶胶空间分布范围扩大.

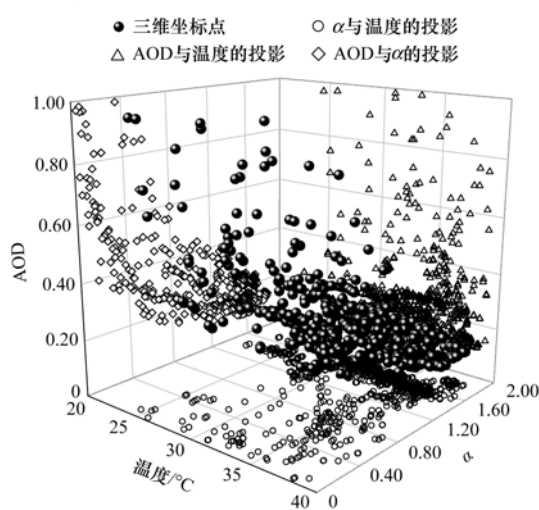


图 9 AOD、 α 和温度的关系

Fig. 9 Relationship between α , temperature, and AOD

2.3.3 相对湿度

图 11 为不同 α 级别下 AOD 随相对湿度(RH)的变化.可以看出,当 $\alpha \leq 0.50$,夏季 AOD 均匀分布在 0.30 ~ 0.90 范围内,随 RH 无明显趋势性变化;春季,AOD 受 RH 的影响表现较为复杂,此时精河地区虽然主要受沙尘气溶胶影响,但盐碱粉尘中含有大量可溶性盐离子(NaCl 等)使得气溶胶颗粒表现吸湿增长能力;当 $0.50 < \alpha < 1$ 时,AOD < 0.50 范围内,AOD 随湿度的变化趋势较为明显,随着 RH 的增大 AOD 呈现增大趋势,表现出较为明显的吸湿

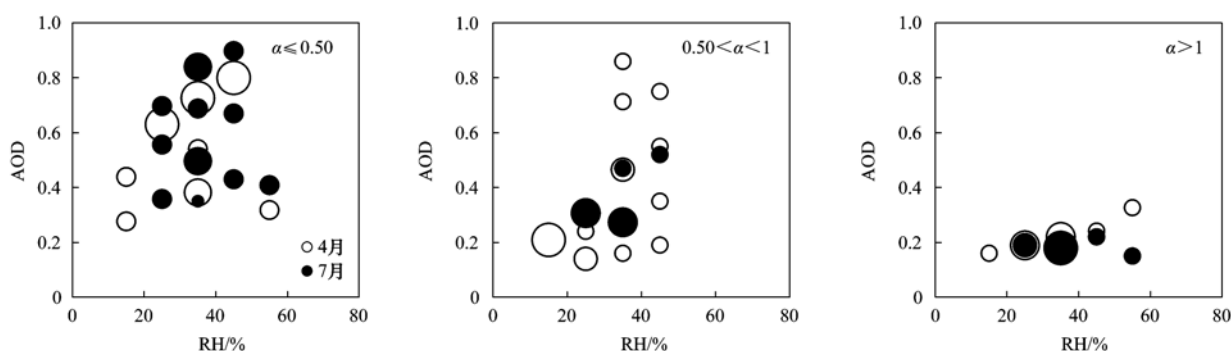


图 11 不同 α 下 AOD 与相对湿度的关系

Fig. 11 Relationship between the AOD and relative humidity with different α



图 10 春季和夏季 AOD 空间分布对比

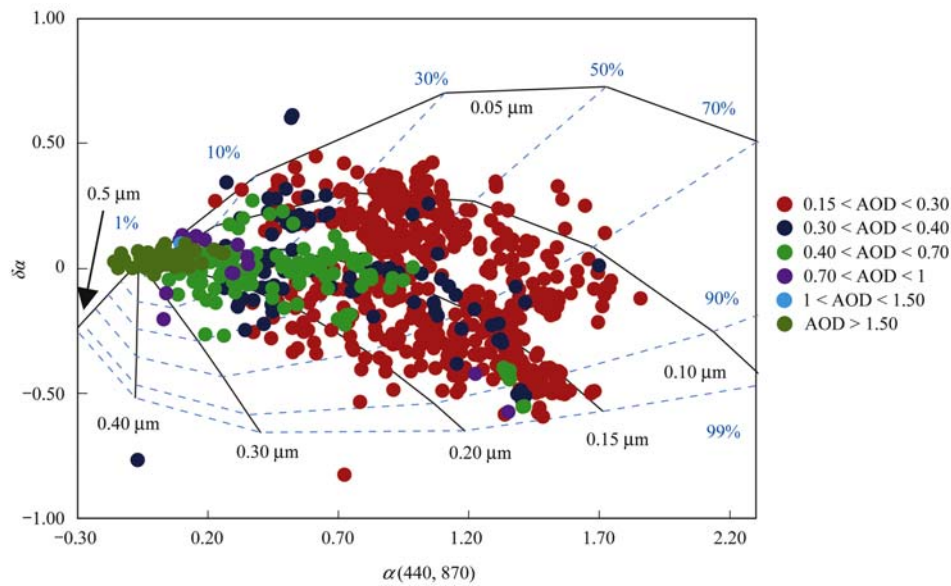
Fig. 10 Spatial distribution of AOD during the spring and summer

性,但当 $AOD > 0.50$,AOD 随 RH 变化的无明显趋势,此时的 AOD 变化主要与粗粒子粉尘输入比例有关,RH 的变化并不是导致 AOD 变化的内在原因;当 $\alpha > 1$ 时,细粒子吸湿增长造成 AOD 随 RH 的增大呈增长趋势,在春季表现较为明显;夏季 AOD 分布范围集中在 0.10 ~ 0.30 区间范围,同样说明小粒子的吸湿增长并不是引起 AOD 高值的主要原因.

2.4 气溶胶分类图解

利用 Gobbi 提出的气溶胶分类图解法^[29]可以得到细模态气溶胶对总 AOD 的贡献和细模态粒子的尺度,同时还可以分离出 AOD 的增加是由于细模态粒子的吸湿性增长引起还是由于粗模态粒子增加引起的.图 12 是以折射率 $m = 1.4 - 0.001i$ 为参考,采用双模态、对数正态分布的 α 和 $\delta\alpha$ 函数对气溶胶类型进行分类的示意.利用 $AOD_{440\text{ nm}}$ 、 $AOD_{675\text{ nm}}$ 和 $AOD_{870\text{ nm}}$ 计算得到 $\alpha_{(440, 675)}$ 、 $\alpha_{(440, 870)}$ 和 $\alpha_{(675, 870)}$,进而得到 $\delta\alpha = \alpha_{(440, 675)} - \alpha_{(675, 870)}$,黑色实线代表细模态粒子粒径的大小(R_f),蓝色虚线代表细模态粒子 AOD 的比例(η).

由图 12 可见,AOD > 0.70 主要表现为粗模态粒子($\alpha \leq 0.50$)的影响,此时细粒子对 AOD 的贡献 η 小于 30%,粒径大小范围约在 0.15 ~ 0.5 μm 之间; $0.15 < AOD < 0.30$ 时,气溶胶主要集中在细模态粒子增长区域($1 < \alpha < 1.70$, $\delta\alpha < 0$),与之相对应的 $\eta > 70\%$,粒径大小范围约在 0.14 ~ 0.21 μm 之

图 12 $AOD_{675\text{ nm}}$ 、 α 和 $\delta\alpha$ 的关系Fig. 12 Relationship between $AOD_{675\text{ nm}}$, α , and $\delta\alpha$

间,说明气溶胶以细模式粒子为主时, AOD 出现高值的概率很小.综合而言,精河县 AOD 高值主要受粗粒子为主的沙尘气溶胶的影响,细粒子吸湿增长引起 AOD 的波动,但不易导致 AOD 高值,无季节性差异.

3 结论

(1)精河县 AOD 日变化呈单峰型,早/晚高峰时期 AOD 分别呈单调增-减趋势,与 α 呈反向变化特征,中午 12:00 ~ 14:00 达到峰值;1 d 之内, AOD 多次出现波动,相对应的 α 均表现出明显的谷值,说明粒子尺度的变化是造成 AOD 波动的主要原因.

(2)气溶胶粒子浓度和主控模态具有明显的季节性差异. AOD 表现为春季(0.403 ± 0.282) > 夏季(0.222 ± 0.135) > 秋季(0.218 ± 0.112), α 表现为夏季(1.339 ± 0.446) > 秋季(1.116 ± 0.278) > 春季(0.914 ± 0.269);春季 AOD 的变化幅度较为剧烈,气溶胶主控粒子粒径大于夏季和秋季,且粒径变化幅度较大.

(3) AOD 和 α 存在较为明显的负相关关系.春、夏两季气溶胶粒径变化范围较大,组成成分较为复杂,随着 α 的减小, AOD 呈现增大趋势;秋季主控气溶胶模态稳定,主要以细粒子为主, AOD 随 α 变化无明显变化;从春季到秋季,气溶胶逐渐从粗模态向细模态过渡.

(4)与夏季相比,春季局地气溶胶对风速、风向和相对湿度的变化较为敏感.主导风向和大风天气带来的沙尘颗粒的输入是引起春季 AOD 增大的主要原因;受粉尘中可溶性盐离子影响,气溶胶颗粒

表现吸湿增长能力,但这并不是引起 AOD 高值的主要原因;温度不是导致局地气溶胶变化的内在因素,但与气溶胶粒子扩散能力成正比.

(5)整体而言,精河县 AOD 高值主要受粗粒子为主的沙尘气溶胶的影响,气溶胶以细模态粒子为主时, AOD 出现高值的概率很小,小颗粒的气溶胶的增加以及气溶胶吸湿增长可引起 AOD 的波动,但都不是造成该地区 AOD 高值的主要原因.

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Dong B W, Wilcox L J, Highwood E J, *et al.* Impacts of recent decadal changes in Asian aerosols on the East Asian summer monsoon; roles of aerosol-radiation and aerosol-cloud interactions[J]. *Climate Dynamics*, 2019, **53**(5/6): 3235-3256.
- [3] Ramanathan V, Crutzen P J, Kiehl J T, *et al.* Aerosols, climate, and the hydrological cycle[J]. *Science*, 2001, **294**(5549): 2119-2124.
- [4] 沈凡卉,王体健,庄炳亮,等. 中国沙尘气溶胶的间接辐射强迫与气候效应[J]. *中国环境科学*, 2011, **31**(7): 1057-1063.
- [5] Shen F H, Wang T J, Zhuang B L, *et al.* The first indirect radiative forcing of dust aerosol and its effect on regional climate in China[J]. *China Environmental Science*, 2011, **31**(7): 1057-1063.
- [6] Kristjánsson J E, Iversen T, Kirkevåg A, *et al.* Response of the climate system to aerosol direct and indirect forcing: role of cloud feedbacks[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2005, **110**(D24): D24206.
- [7] Dave P, Patil N, Bhushan M, *et al.* Aerosol influences on cloud modification and rainfall suppression in the South Asian Monsoon Region[A]. In: Venkataraman C, Mishra T, Ghosh S, *et al* (Eds.). *Climate Change Signals and Response*[C]. Singapore: Springer, 2019.
- [8] 王静,牛生杰,许丹,等. 南京一次典型雾霾天气气溶胶光学特性[J]. *中国环境科学*, 2013, **33**(2): 201-208.

- Wang J, Niu S J, Xu D, *et al.* Aerosol optical properties during the typical haze/fog event in Nanjing[J]. *China Environmental Science*, 2013, **33**(2): 201-208.
- [8] Bréon F M, Tanré D, Generoso S. Aerosol effect on cloud droplet size monitored from satellite[J]. *Science*, 2002, **295**(5556): 834-838.
- [9] Smirnov A, Holben B N, Kaufman Y J, *et al.* Optical properties of atmospheric aerosol in maritime environments[J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 2002, **59**(3): 501-523.
- [10] 华雯丽. 中国西北地区沙尘质量浓度的地基遥感研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2018.
- Hua W L. Ground-based retrieval of dust mass concentration over Northwest China[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2018.
- [11] 张芝娟. 基于多源数据的气溶胶光学特性及时空分布特征的研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2019.
- Zhang Z J. Study on characteristics of aerosol optical property and spatio-temporal distribution based on multi-source datasets[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2019.
- [12] 李霞, 胡秀清, 崔彩霞, 等. 南疆盆地沙尘气溶胶光学特性及我国沙尘天气强度划分标准的研究[J]. *中国沙漠*, 2005, **25**(4): 488-495.
- Li X, Hu X Q, Cui C X, *et al.* Research on dust aerosol optical properties in South Tarim basin and classification of different dusty weather in China[J]. *Journal of Desert Research*, 2005, **25**(4): 488-495.
- [13] 陈静, 张艳品, 杨鹏, 等. 石家庄一次沙尘气溶胶污染过程及光学特性[J]. *中国环境科学*, 2016, **36**(4): 979-989.
- Chen J, Zhang Y P, Yang P, *et al.* Pollution process and optical properties during a dust aerosol event in Shijiazhuang[J]. *China Environmental Science*, 2016, **36**(4): 979-989.
- [14] 朱君. 东南亚生物质燃烧气溶胶输送至我国西南地区的观测与模拟研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2016.
- [15] 吴立新, 吕鑫, 秦凯, 等. 基于太阳光度计地基观测的徐州气溶胶光学特性变化分析[J]. *科学通报*, 2016, **61**(20): 2287-2298.
- Wu L X, Lv X, Qing K, *et al.* Analysis to Xuzhou aerosol optical characteristics with ground-based measurements by sun photometer[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2016, **61**(20): 2287-2298.
- [16] 于兴娜, 李新妹, 登增然登, 等. 北京雾霾天气期间气溶胶光学特性[J]. *环境科学*, 2012, **33**(4): 1057-1062.
- Yu X N, Li X M, Deng Z G, *et al.* Optical properties of aerosol during haze-fog episodes in Beijing[J]. *Environmental Science*, 2012, **33**(4): 1057-1062.
- [17] 饶加旺, 马荣华, 段洪涛, 等. 太湖上空大气气溶胶光学厚度及其特征分析[J]. *环境科学*, 2012, **33**(7): 2158-2164.
- Rao J W, Ma R H, Duan H T, *et al.* Aerosol optical thickness of the atmospheric aerosol over Taihu lake and its features; results of in-site measurements[J]. *Environmental Science*, 2012, **33**(7): 2158-2164.
- [18] 张勇, 银燕, 刘蕴芳, 等. 北京秋季大气气溶胶光学厚度与 Angström 指数观测研究[J]. *中国环境科学*, 2014, **34**(6): 1380-1389.
- Zhang Y, Yin Y, Liu Y F, *et al.* A observational study of aerosol optical depth and Angström wavelength exponent over Beijing in Autumn[J]. *China Environmental Science*, 2014, **34**(6): 1380-1389.
- [19] 吕睿, 于兴娜, 沈丽, 等. 北京春季大气气溶胶光学特性研究[J]. *中国环境科学*, 2016, **36**(6): 1660-1668.
- Lv R, Yu X N, Shen L, *et al.* Aerosol optical properties in spring over urban Beijing[J]. *China Environmental Science*, 2016, **36**(6): 1660-1668.
- [20] 齐冰, 车慧正, 徐婷婷, 等. 基于地基遥感的杭州地区气溶胶光学特性[J]. *环境科学*, 2019, **40**(4): 1604-1612.
- Qi B, Che H Z, Xu T T, *et al.* Column-integrated aerosol optical properties determined using ground-based sun photometry measurements in the Hangzhou Region[J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(4): 1604-1612.
- [21] 吉力力·阿不都外力, 徐俊荣, 穆桂金, 等. 艾比湖盐尘对周边地区土壤盐分及景观变化的影响[J]. *冰川冻土* 2007, **29**(6): 928-939.
- Jilili A, Xu J R, Mu G J, *et al.* Effect of soil dust from Ebinur Lake on soil salts and landscape of surrounding Regions[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2007, **29**(6): 928-939.
- [22] 鄢雪英, 丁建丽, 李鑫, 等. 艾比湖湿地退化对盐尘暴发生及运移路径的影响[J]. *生态学报*, 2015, **35**(17): 5856-5865.
- Yan X Y, Ding J L, Li X, *et al.* Effect of salt dust storm migration pathways on degradation of Ebinur Lake Wetland[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, **35**(17): 5856-5865.
- [23] 陈香月, 丁建丽, 王敬哲, 等. 艾比湖流域气溶胶光学厚度时空演变及影响因素[J]. *环境科学*, 2019, **40**(11): 4824-4832.
- Chen X Y, Ding J L, Wang J Z, *et al.* Spatiotemporal evolution and driving mechanism of aerosol optical depth in the Ebinur Lake basin[J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(11): 4824-4832.
- [24] 格丽玛. 新疆艾比湖流域近 45 年来气候变化及其影响研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2006.
- Ge L M. Study on climatic variation and its effect in recent 45 years in Ebinur Lake basin of Xinjiang[D]. Urumqi: Xinjiang University, 2006.
- [25] 邓雨薇, 李艳红, 黄菲. 新疆艾比湖湿地开发及环境效益分析[J]. *资源开发与市场*, 2014, **30**(3): 317-320.
- Deng Y W, Li Y H, Huang F. Analysis on wetland development and environmental benefits of Xinjiang Ebinur Lake[J]. *Resource Development & Market*, 2014, **30**(3): 317-320.
- [26] Habib A, Chen B, Khalid B, *et al.* Estimation and inter-comparison of dust aerosols based on MODIS, MISR and AERONET retrievals over Asian desert regions[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2019, **76**: 154-166.
- [27] Kim D H, Sohn B J, Nakajima T, *et al.* Aerosol optical properties over east Asia determined from ground-based sky radiation measurements[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2004, **109**(D2): D02209.
- [28] Dubovik O, Holben B N, Eck T F, *et al.* Variability of absorption and optical properties of key aerosol types observed in worldwide locations[J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 2002, **59**(3): 590-608.
- [29] Gobbi G P, Kaufman Y J, Koren I, *et al.* Classification of aerosol properties derived from AERONET direct sun data[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2007, **7**(2): 453-458.

CONTENTS

Comparison Analysis of the Effect of Emission Reduction Measures for Major Events and Heavy Air Pollution in the Capital	ZHONG Yi-sheng, ZHOU Ying, CHENG Shui-yuan, <i>et al.</i>	(3449)
Evaluation of Different ISORROPIA-II Modes and the Influencing Factors of Aerosol pH Based on Tianjin Online Data	GAO Jie, SHI Xu-rong, WEI Yu-ting, <i>et al.</i>	(3458)
Emission Characteristics of Particulate Organic Matter from Cooking	LI Yuan-ju, WU Ai-hua, TONG Meng-xue, <i>et al.</i>	(3467)
Characteristics and Sources of 12 Trace Amount Elements in PM _{2.5} During a Period of Heavy Pollution in Huanggang, Central China	CHEN Zhan-le, TIAN Qian, MAO Yao, <i>et al.</i>	(3475)
Aerosol Optical Properties over the Ebirur Region	ZHANG Zhe, DING Jian-li, WANG Jin-jie	(3484)
Characteristics of Secondary Organic Particles and the Potential Formation of SOA from VOCs During Wintertime Heavy Pollution Episodes in Tianjin	XU Hong, TANG Miao, XIAO Zhi-mei, <i>et al.</i>	(3492)
Characteristics and Source Apportionment of VOCs at Different Pollution Levels During the Winter in an Urban Area in Zhengzhou	LI Yi-dan, YIN Sha-sha, ZHANG Rui-qin, <i>et al.</i>	(3500)
Emission Inventory of Intermediate Volatility Organic Compounds (IVOCs) from Biomass Burning in the Yangtze River Delta During 2010-2018	ZHU Yong-hui, WANG Qian, HUANG Ling, <i>et al.</i>	(3511)
Emission Characteristics of Biogenic Volatile Compounds (BVOCs) from Common Greening Tree Species in Northern China and Their Correlations with Photosynthetic Parameters	XU Yan, LI Shuang-jiang, YUAN Xiang-yang, <i>et al.</i>	(3518)
Characteristics of Surface Ozone and Impact Factors at Different Station Types During the Autumn in Guangzhou	GAO Ping, ZHUANG Li-yue, WANG Long, <i>et al.</i>	(3527)
Pollution Characteristics and Sensitivity Analysis of Atmospheric Ozone in Taian City	LI Kai, LIU Min, MEI Ru-bo	(3539)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Road Dust from Non-ferrous Smelting Parks	FENG Yu-yao, SHI Jian-wu, ZHONG Yao-qian, <i>et al.</i>	(3547)
Pollution and Source Analysis of Heavy Metal in Surface Dust from Xi'an University Campuses	FAN Xin-yao, LU Xin-wei, LIU Hui-min, <i>et al.</i>	(3556)
Monitoring Method of Total Particulate Matter in Ultra-low-emission and High-humidity Exhaust Gas from Stationary Sources and an Actual Test in a Gas Power Plant	HU Yue-qi, YAN Xu, KONG Chuan, <i>et al.</i>	(3563)
Vessels' Air Pollutant Emissions Inventory and Emission Characteristics in the Xiamen Emission Control Area	WANG Jian, HUANG Zhi, LIU Yan-ying, <i>et al.</i>	(3572)
Method for High-resolution Emission Inventory for Road Vehicles in Chengdu Based on Traffic Flow Monitoring Data	PAN Yu-jin, LI Yuan, CHEN Jun-hui, <i>et al.</i>	(3581)
Inversion of Water Quality Parameters Based on UAV Multispectral Images and the OPT-MPP Algorithm	HUANG Xin-xi, YING Han-ting, XIA Kai, <i>et al.</i>	(3591)
Effects of Different Water Stratification on the Vertical Distribution of Nitrogen in Sediment Interstitial Waters: A Case Study of the Three Gorges Reservoir and Xiaowan Reservoir	LIU Jing-si, ZHU Xiao-sheng, HU Zi-long, <i>et al.</i>	(3601)
Pollution Status and Pollution Behavior of Microplastic in Surface Water and Sediment of Urban Rivers	ZHAO Xin, CHEN Hao, JIA Qi-long, <i>et al.</i>	(3612)
Spatial and Temporal Variation of Phytoplankton Community Structure and Its Influencing Factors in Shanghai River Channels	XU Zhi, CHEN Xiao-hua, SHEN Gen-xiang, <i>et al.</i>	(3621)
Restoration of River Sediment by Calcium Peroxide (CaO ₂) Combined with Biochar	LI Yu-ping, JIANG Ying-ying, LIU Bao-ming, <i>et al.</i>	(3629)
Quantification of Nitrate Sources to Groundwater in Karst Trough-valley Areas Based on Dual Stable Isotopes of $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ and $\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$ and the IsoSource Model	XU Lu, JIANG Yong-jun, DUAN Shi-hui, <i>et al.</i>	(3637)
Dynamic Process of Nitrogen and Phosphorus Export and Loss Load in an Intensive Orchard with Ridge and Furrow Plantation in the Three Gorges Reservoir Area	YAN Kun, WANG Yu-kuan, LIU Qin, <i>et al.</i>	(3646)
Analysis of Rainfall Runoff Pollution and Pollution Load Estimation for Urban Communities in a Highly Urbanized Region	GAO Bin, XU You-peng, LU Miao, <i>et al.</i>	(3657)
Adsorption of As(III) in Water by Iron-loaded Graphene Oxide-Chitosan	ZHAO Chao-ran, SHAN Hui-mei, ZENG Chun-ya, <i>et al.</i>	(3665)
Sorption Behaviors of Copper Ions and Tetracycline on Microplastics in Aqueous Solution	XUE Xiang-dong, WANG Xing-yuan, MEI Yu-chen, <i>et al.</i>	(3675)
Effect of Porous Fillers Properties on Biofilm Growth	JIANG Yu-qin, LI Jiong-hui, FANG Zhi-guo	(3684)
Adaptability of Nitrifying Biofilm Systems to Low Temperature: MBBR and IFAS	LI Ren, YU Li-fang, ZHANG Xing-xiu, <i>et al.</i>	(3691)
Improved on Nitrogen Removal of Anaerobic Ammonia Oxidation by Coupling Element Sulfur-based Autotrophic Short-cut Denitrification	FANG Wen-ye, LI Xiang, HUANG Yong, <i>et al.</i>	(3699)
Nitrogen and Phosphorus Removal from Domestic Sewage Aerobic Granular Sludge Under Intermittent Gradient Aeration	ZHANG Yu-jun, LI Dong, LI Shuai, <i>et al.</i>	(3707)
Rapid Start-up and Stability of Partial Denitrification Based on Different Waste Sludge Sources	ZHANG Xing-xing, WANG Chao-chao, WANG Yao, <i>et al.</i>	(3715)
Decision-making Analysis of Excess Sludge Pretreatment for Struvite Recovery Based on AHP-PROMETHEE II Method	LIU Xiao-lei, LI An-jie	(3725)
Effect on Ammonia Inhibition Mitigation in the Anaerobic Digestion Process with Zero-Valent Iron	LIU Ji-bao, NIU Yu-tong, YU Da-wei, <i>et al.</i>	(3731)
Performance of Anaerobic Membrane Bioreactors for the Co-digestion of Sewage Sludge and Food Waste	DAI Jin-jin, NIU Cheng-xin, PAN Yang, <i>et al.</i>	(3740)
Antibiotics Induce Horizontal Gene Transfer of Resistance at Sublethal Concentrations	YUAN Qi-yi, CHEN Hong-jie, Laurence Haller, <i>et al.</i>	(3748)
Impact of Tetracycline Antibiotic on the Transcriptional Expression of Tetracycline Resistance Genes in <i>Shigella flexneri</i>	GAO Pin, RUAN Xiao-hui, QIU Wen-jie, <i>et al.</i>	(3758)
Competitive Selection of Hydroxylamine on Ammonia Oxidizing Bacteria and Nitrite Oxidizing Bacteria	QIAO Xin, WANG Bo, GUO Yuan-yuan, <i>et al.</i>	(3765)
Analysis of the Effect of Temperature on the Microbial Flora Structure During the Nitrite Oxidation Process Using 16S rRNA High-throughput Sequencing	HOU Xiao-wei, NIU Yong-jian, LI Wei-wei, <i>et al.</i>	(3773)
Universality and Potential Application of Mn(II) Oxidation Triggered by Microbial Interspecies Interactions	NING Xue, LIANG Jin-song, BAI Yao-hui, <i>et al.</i>	(3781)
Distribution and Potential Nitrification Rates of Aerobic Ammonia-Oxidizing Microorganisms in Surface Sediments of Mangrove in Sanya River	LUO Qing, ZHEN Yu, PENG Zong-bo, <i>et al.</i>	(3787)
Effects of Ozone Pollution on Growth, Yields, and Mineral Metallic Element Contents of Paddy Rice	FANG Xiao-kun, LUO Xiao-san, ZHANG Dan, <i>et al.</i>	(3797)
Short Term Effects of a Changing Carbon Input on the Soil Respiration of <i>Picea schrenkiana</i> Forests in the Tianshan Mountains, Xinjiang	SHAO Kang, GONG Lu, HE Xue-min, <i>et al.</i>	(3804)
Effects of the Combined Application of Organic and Inorganic fertilizers on N ₂ O Emissions from Saline Soil	ZHOU Hui, SHI Hai-bin, GUO Jia-wei, <i>et al.</i>	(3811)
Mechanism and Influencing Factors of Increasing Soil Temperature by <i>in-situ</i> Electrical Resistance Heating	GE Song, MENG Xian-rong, XU Wei, <i>et al.</i>	(3822)
Acid Mine Wasteland Reclamation by <i>Juncus ochraceus</i> Buchen as a Potential Pioneer Plant	HUANG Jian-hong, FU Jiang-li, YAN Xin-rui, <i>et al.</i>	(3829)
Effects of Drip Irrigation Patterns and Biochar Addition on Soil Mineral Nitrogen and Microbial Regulation of Greenhouse	CAI Jiu-mao, LIU Jie-yun, QIU Hu-sen, <i>et al.</i>	(3836)
Effects of Cotton Stalk Biochar on the Structure and Function of Fungi Community in Alkaline Rhizosphere Soil of Rice Under Cadmium Pollution	LIU Shi-dou, HAN Yao-guang, ZHU Xin-ping, <i>et al.</i>	(3846)
Effects of Different Treatments with Water Management Combined with Leaf Spraying Silicon Fertilizer on Cd Accumulation in Rice	WEI Bin-yun, ZHOU Hang, LIU Jia-wei, <i>et al.</i>	(3855)
Effects of Chelate GLDA on the Remediation of Cadmium Contaminated Farmland by <i>Pennisetum purpureum</i> Schum	QIN Jian-jun, TANG Sheng-shuang, JIANG Kai, <i>et al.</i>	(3862)
Situation Analysis and Trend Prediction of the Prevention and Control Technologies for Planting Non-Point Source Pollution	YU Ying-liang, YANG Lin-zhang, LI Hong-na, <i>et al.</i>	(3870)