

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第7期

Vol.33 No.7

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

三峡库首秭归地区大气降水硫同位素组成及示踪研究	吴起鑫, 韩贵琳 (2145)
成都春季生物质燃烧和沙尘期间气溶胶散射特征及其重建	岳建华, 陶俊, 林泽健, 朱李华, 曹军骥, 罗磊 (2151)
太湖上空大气气溶胶光学厚度及其特征分析	饶加旺, 马荣华, 段洪涛, 姜广甲, 尚琳琳, 周琳 (2158)
环上海地区干霾气溶胶垂直分布的季节变化特征	徐婷婷, 秦艳, 耿福海, 陈勇航, 张华, 刘琼, 马晓骏 (2165)
南京冬季市区和郊区气溶胶中 PAHs 浓度的昼夜特征及粒径分布	张红亮, 樊曙先, 顾凯华, 朱彬, 范洋, 祖繁, 李红双, 孟庆紫, 何佳宝 (2172)
青岛大气气溶胶水溶性无机离子研究: 季节分布特征	刘臻, 祁建华, 王琳, 陈晓静, 石金辉, 高会旺 (2180)
城市污水处理厂生成的微生物气溶胶的污染特性	邱雄辉, 李彦鹏, 牛铁军, 李美玲, 马智慧, 苗莹, 王湘君 (2191)
基于 WEPS 模型的天津郊区土壤风蚀起尘及对中心城区迁移量估算	陈莉, 韩婷婷, 李涛, 姬亚芹, 白志鹏, 王斌 (2197)
浒苔绿潮与苏北近岸海域营养盐浓度的关系研究	高嵩, 石晓勇, 王婷 (2204)
福建沿海近 10 a 赤潮基本特征分析	李雪丁 (2210)
HSPF 水文水质模型应用研究综述	李兆富, 刘红玉, 李燕 (2217)
城市降雨径流模拟的参数不确定性分析	黄金良, 林杰, 杜鹏飞 (2224)
利用 CDOM 吸收系数估算太湖水体表层 DOC 浓度	姜广甲, 马荣华, 段洪涛 (2235)
嘉善地区水环境敏感点水质影响权重分析及风险等级判定	谢蓉蓉, 逢勇, 张倩, 陈可, 孙明园 (2244)
重庆市盘溪河水质不同季节日变化规律及水质评价	张千千, 王效科, 郝丽岭, 逯非, 欧阳志云, 侯培强, 张烨 (2251)
南京市湿地水质对城市化影响强度的响应研究	郝敬锋, 刘红玉, 胡和兵, 安静, 张小红 (2259)
宁夏沙湖浮游植物与水环境因子关系的研究	邱小琮, 赵红雪, 孙晓雪 (2265)
影响太子河流域鱼类空间分布的不同尺度环境因子分析	丁森, 张远, 渠晓东, 孔维静, 刘思思, 孟伟 (2272)
大型底栖动物生物评价指数比较与应用	耿世伟, 渠晓东, 张远, 林坤德 (2281)
青藏高原纳木错流域水体总汞的时空分布特征	王康, 康世昌, 郭军明, 张强弓, 黄杰, 郑伟 (2288)
青藏高原纳木错湖水主要化学离子的时空变化特征	郭军明, 康世昌, 张强弓, 黄杰, 王康 (2295)
用物理-生态集成技术局部控制富营养化	李秋华, 夏品华, 吴红, 林陶, 张友春, 李存雄, 陈丽丽, 杨帆 (2303)
太湖氮素出入湖通量与自净能力研究	陈小锋, 揣小明, 曾巾, 刘涛, 杨柳燕 (2309)
富营养湖泊沉积物中磷组分对硫酸盐的响应	袁探, 华玉妹, 朱端卫, 赵建伟, 蔡建波 (2315)
巢湖表层沉积物磷的空间分布差异性研究	温胜芳, 单保庆, 张洪 (2322)
南京地区典型有机污染物长距离输送潜力研究	方利江, 吴有方, 丁中原, 马子龙, 柳敏, 高宏 (2330)
东海内陆架沉积物中黑碳分布及其与持久性有机污染物的相关性研究	林田, 方引, 陈颖军, 胡利民, 郭志刚, 张干 (2335)
嘉陵江重庆段表层水体多环芳烃的污染特征	蔡文良, 罗固源, 许晓毅, 杜炯 (2341)
电子废物拆解区河流沉积物中多氯联苯的污染水平、分布及来源	王学彤, 李元成, 缪绎, 张媛, 孙阳昭, 吴明红, 盛国英, 傅家谟 (2347)
基于梯形模糊数的沉积物重金属污染风险评价模型与实例研究	李飞, 黄瑾辉, 曾光明, 唐晓娇, 白兵, 蔡青, 祝慧娜, 梁婕 (2352)
渤海湾海岸带开发对近岸沉积物重金属的影响	秦延文, 郑丙辉, 李小宝, 张雷, 时瑶, 曹伟 (2359)
崇明东滩表层沉积物重金属空间分布特征及其污染评价	李雅娟, 杨世伦, 侯立军, 周菊珍, 刘英文 (2368)
白洋淀底泥重金属形态及竖向分布	李必才, 何连生, 杨敏, 孟睿, 袁冬海, 席北斗, 舒俭民 (2376)
西南涌酸挥发硫化物浓度水平及影响因素研究	刘晓冰, 温琰茂, 利锋, 吴昌华, 段志鹏 (2384)
氨氮在饮用水生物滤池内的去除机制	刘冰, 范辉, 余国忠, 于鑫, 赵承美, 李清飞, 张舒婷, 魏博 (2394)
Cu(II) 印迹壳聚糖交联膜的表征及其吸附热力学特性	张玉红, 张爱丽, 周集体, 孙筱雨 (2403)
声电氧化处理扑热息痛的研究	戴启洲, 马文姣, 沈宏, 陈浚, 陈建孟 (2410)
粉煤灰吸附-Fenton 及热再生处理亚甲基蓝废水的特性研究	白玉洁, 张爱丽, 周集体 (2419)
利用双室微生物燃料电池处理模拟废水的产电特性研究	张永娟, 李永峰, 刘春研, 王艺璇, 李龙, 王籽人, 董义兴 (2427)
Zn/Cr 型阴离子黏土的制备、表征及其对活性艳橙 X-GN 的去除性能研究	王小蓉, 吴平霄 (2432)
核电站低放射性废水在封闭水体中的输移规律研究	武国正, 徐宗学 (2438)
A + OSA 污泥减量工艺碳元素平衡与减量机制研究	翟小敏, 高旭, 张曼曼, 贾丽, 郭劲松 (2444)
系列混合碳源在 EBPR 系统颗粒化进程中的影响研究	蒋涛, 孙培德, 徐少娟 (2451)
氧化还原介体催化强化 <i>Paracoccus versutus</i> 菌株 GW1 反硝化特性研究	李海波, 廉静, 郭延凯, 赵丽君, 杜海峰, 杨景亮, 郭建博 (2458)
1 株转座子插入突变菌株 TB34 的筛选及产氢分析	刘洪艳, 王广策, 侍浏洋, 朱大玲 (2464)
蜜环菌漆酶对氯酚类污染物催化降解条件优化	秦仁炳, 朱显峰, 吴珂, 张晶晶, 赵海康 (2470)
双季稻田 CH ₄ 和 N ₂ O 排放特征及品种筛选研究	傅志强, 朱华武, 陈灿, 黄瑛 (2475)
闽江河口短叶茳苳湿地 CH ₄ 和 N ₂ O 排放对氮输入的短期响应	牟晓杰, 刘兴土, 仝川, 孙志高 (2482)
青海三江源地区退化草地土壤全氮的时空分异特征	彭景涛, 李国胜, 傅瓦利, 易湘生, 蓝家程, 袁波 (2490)
不同降雨条件下侵蚀泥沙黏粒含量的变化规律	吴凤至, 史志华, 方怒放, 岳本江 (2497)
土壤性质对单一及复合污染下外源镉稳定化过程的影响	吴曼, 徐明岗, 张文菊, 武海雯 (2503)
多氯联苯污染农田土壤的原位生态调控修复效应	潘澄, 滕应, 骆永明, 涂晨, 李秀芬, 马婷婷, 张满云, 李振高, 宋静 (2510)
不同作物根系多环芳烃吸收特征差异的比较研究	梁宵, 占新华, 周立祥 (2516)
废气和废渣协同作用脱钠反应特性及机制研究	伊元荣, 韩敏芳 (2522)
中国第三产业能源碳排放影响要素指数分解及实证分析	卢愿清, 史军 (2528)
《环境科学》征稿简则 (2431)	
《环境科学》征订启事 (2532)	
信息 (2157, 2271, 2367, 2418)	

太湖上空大气气溶胶光学厚度及其特征分析

饶加旺^{1,2}, 马荣华^{1*}, 段洪涛¹, 姜广甲^{1,2}, 尚琳琳^{1,2}, 周琳^{1,2}

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 基于高精度的太阳光度计(CE-318)得到太湖上空气溶胶长期观测数据, 获得了太湖上空从2005年9月~2010年10月的气溶胶光学厚度(AOT)以及相应的Ångström参数 α 。5 a的观测资料表明, 太湖上空AOT的高值区出现在夏季的6~7月, 低值区出现在秋冬季节的10月~次年1月; α 的低值区和高值区分别出现在春季的3~4月和秋季的9~11月, AOT及对应的 α 的变化主要与该地区的天气形势有关。从频率分布来看, AOT(500 nm)只有一个峰值, 最高频率值为0.4~0.6, 约占总样本的26%, 年均值为0.80。按照平均AOT(500 nm)计算, 气溶胶造成的太阳直射辐射的透过率衰减至少为50%, 致使太湖地区的大气较为混浊, 形成严重的雾霾天气; Ångström波长指数 α 有2个峰值, 最高频率区间为1.1~1.3和1.3~1.5, 分别占总样本的30%, 年平均值为1.17。结果还表明AOT(500 nm)和 α 的日均值变化范围均较大, 表明太湖上空有不同类型的气溶胶粒子共存; 当 α 增大时, AOT(500 nm)的均值呈递减趋势。总体结果分析表明, 太湖上空的AOT值随时间变化较大, 属于城市-工业型气溶胶类型。

关键词: 太湖; 气溶胶光学厚度; Ångström参数; CE-318; 观测资料

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)07-2158-07

Aerosol Optical Thickness of the Atmospheric Aerosol over Taihu Lake and Its Features: Results of In-site Measurements

RAO Jia-wang^{1,2}, MA Rong-hua¹, DUAN Hong-tao¹, JIANG Guang-jia^{1,2}, SHANG Lin-lin^{1,2}, ZHOU Lin^{1,2}

(1. Nanjing Institute of Limnology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Based on the data measured *in situ* by an automatic sun tracking photometer (CE-318), the aerosol optical thickness (AOT) and the corresponding Ångström coefficient α of the atmospheric aerosol over Taihu Lake from November 2005 to October 2010 were collected. The results showed that high values of AOT over Taihu Lake were measured in summer (June to July) whereas low values were detected in autumn and winter (October to January). However, the low and high values of α appeared in spring (March to April) and in autumn (September to November), respectively. The variations of AOT and α over Taihu Lake may be related to weather patterns in this region. Based on the frequency distribution, AOT (500 nm) had only one peak value, with a maximum frequency of 0.4-0.6 and a yearly average value of 0.80, accounting for 26% of the total sample. Calculated from the mean AOT (500 nm), the solar radiation reduction was reduced by at least 50% by the atmospheric aerosol, resulting in more turbid atmosphere in this region and consequently heavy fog and haze. There were two peak values of the Ångström coefficient α , with the maximum frequency ranging from 1.1-1.3 and 1.3-1.5 and a yearly average value of 1.17, accounting for 30% of the total sample. Significant variations were also observed in the daily average values of AOT (500 nm) and α , indicating the coexistence of different types of aerosols over Taihu Lake. The mean value of AOT (500 nm) declined when α increased. To sum up, values of AOT (500 nm) over Taihu Lake changed greatly with time, and the aerosol should be classified as an urban-industrial aerosol.

Key words: Taihu Lake; Aerosol optical thickness; Ångström coefficient; CE-318; observational data

大气气溶胶是指由自然或人为活动排放的, 悬浮在大气中固态的和液态的, 具有稳定性、沉降性、尺度范围在0.001~100 μm 之间的颗粒^[1]。受周围环境、排放源以及本身性质等多种因素的影响, 无论是在组成成分、尺度谱分布还是在时空分布上, 气溶胶的变化都很大。气溶胶的时空不确定性是影响遥感影像大气校正精度的重要原因^[2], 获取不了较为真实的气溶胶辐射信息, 很难从根本上提高大气校正的精度, 准确的气溶胶时空变化参数成为湖泊水色遥感大气校正精度提高的关键^[3]。气溶胶光学厚度(aerosol optical thickness, AOT)与Ångström参数

(波长指数 α)是描述大气气溶胶光学特性的最基本的参数; 其中, AOT是影响大气气溶胶光学性质的一个重要因素^[4], 是计算大气中气溶胶含量、研究气溶胶气候效应以及遥感影像大气校正的关键参数^[5,6]; Ångström波长指数 α 是气溶胶光谱属性的第一级指标, 是判断气溶胶类型的重要依据^[7]。系

收稿日期: 2011-09-07; 修订日期: 2011-10-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171271, 41171273); 中国科学院知识创新方向重要方向性项目(KZCX2-XY-QN311, KZCX2-EW-QN308)

作者简介: 饶加旺(1987~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为湖泊水环境遥感大气校正, E-mail: rjw0511230@163.com

* 通讯联系人, E-mail: mrhua2002@niglas.ac.cn

统地研究大气气溶胶,较为精确的方法就是利用地基遥感的观测手段,而地基遥感观测手段常用的仪器是全自动太阳光度计(CE-318)。NASA 在全球布设的由数百个站点组成的用于监测全球气溶胶的 AERONET (Aerosol Robotic NETwork) 气溶胶观测网络,采用的就是该设备^[8]。目前,通过该仪器获得的点上高精度的测量数据,已经被广泛的应用于 AOT 遥感反演^[9]和精度验证中^[10]。

太湖是我国第三大淡水湖泊,位于我国经济发展最具活力的长三角地区,属于典型的亚热带东南季风气候区,夏季高温多雨,冬季温和少雨。近 30 年来由于该地区经济持续快速增长导致环境问题显著,诸如空气质量下降^[11]、大气水平能见度降低^[12]。近年来已有不少学者对该地区的气溶胶进行研究,主要集中在气溶胶粒子谱分布^[13]、卫星遥感反演 AOT 的验证^[10,14]、AOT 时空分布^[6,14,15]、气溶胶对太阳辐射影响^[6]等 4 个方面。虽然从 NASA 的 MODIS 气溶胶产品能够直观地表明长三角地区上空有高浓度的气溶胶存在^[16],但由于其较低的空间分辨率以及难以实时的监测,使得该产品不适用于太湖水色遥感大气校正的研究。太湖站点作为 AERONET 全球观测站点之一,积累了太湖地区宝贵的实测数据,近年来有学者利用 AERONET 资料对太湖的气溶胶较短时间序列变化规律进行研究^[6,10,14,17,18],但一般为 1 a;为了揭示太湖上空气溶胶变化规律,获取更为精确的气溶胶参数信息,多年长时间序列的地基观测及其研究分析显得十分必要。本研究基于 AERONET 太湖站点 CE-318 2005 年 9 月~2010 年 10 月的 level 1.5 数据,通过①反演 AOT 和 Ångström 参数;②揭示太湖上空 AOT 和 Ångström 参数长时间序列的变化规律;③探讨 AOT 和 Ångström 参数的频率分布;④分析 AOT 与 Ångström 参数的关系;以期以太湖水色遥感大气校正提供基础数据和依据。

1 材料与方法

1.1 数据获取

CE-318 观测站点位于太湖北部的中国科学院太湖湖泊生态系统野外观测研究站内(31°25'15"N, 120°12'55"E),紧邻太湖(图 1),海拔约 10 m,周围无建筑物阻挡、空气流通顺畅、视野开阔。本研究所使用的数据:2005 年 9 月~2009 年 10 月 level 1.5 数据来自 CE-318-A,从 AERONET 网站直接获取;2009 年 11 月~2010 年 10 月 level 1.5 数据,通过对

CE-318-B level 1.0 数据自行处理获得。

CE-318-A 和 CE-318-B 分别于 2005 年 9 月和 2009 年 11 月安装在中国科学院太湖湖泊生态系统野外观测研究站内(图 1),相距约 15 m,该仪器以 1.5°的视场角每 3 min 获取 340、380、440、500、670、870、936、1 020 和 1 640 nm 通道的太阳直射光谱辐射测量值^[6],其中 936 nm 通道的测量值用来获取大气中总的水汽含量,其余通道的测量值用来反演 AOT,反演误差在 0.01~0.02 左右^[19]。CE-318-A 每年由 NASA 定标 1 次;CE-318-B 购买于 2009 年 10 月,按照生产厂家的建议在持续观测的 1 a 中仪器不需要进行额外定标,在安装及运行过程中,该仪器均为正常状态。因此在数据处理的过程中使用了仪器出厂时的定标数据。

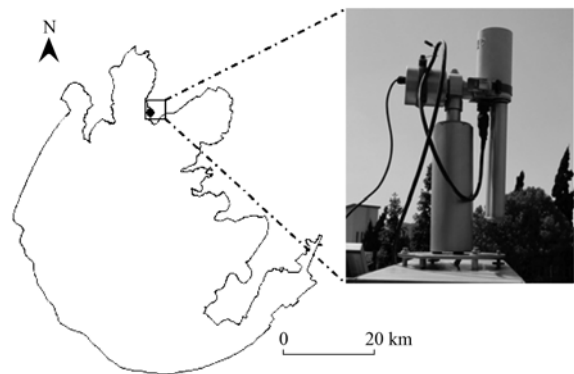


图 1 观测站点位置和 CE-318 主体结构

Fig. 1 Location of and the observation site and the main structure of CE-318

1.2 数据处理

根据 Smironov 等^[20]的理论,使用 ASTPwin 软件的 AOT 计算模块,对 CE-318-B 从 2009 年 11 月~2010 年 10 月总计 15 730 次观测获取的实测数据进行处理,得到了各通道共计 185 d level 1.5 的 AOT 数据,每月有记录的天数见图 2。根据 Che 等^[21]的研究,从 ASTPwin 软件计算得到的 AOT 值比 AERONET 的 AOT 稍大,但差距较小(约 0.01),因此近似认为两者一致。

通常,我国东部地区近地层气溶胶谱服从 Junge 分布^[13],假设气溶胶复折射系数与波长无关,气溶胶光学厚度 $\tau_a(\lambda)$ 与波长 λ 的关系满足公式:

$$\tau_a(\lambda) = \beta \lambda^{-\alpha} \quad (1)$$

式中, α 为 Ångström 波长指数,一般情况下 $0 < \alpha < 2$, α 越小,对应的粒子的平均半径越大; β 为 Ångström 大气混浊系数,描述大气中气溶胶的含量,与气溶胶粒子总数,粒子谱分布和折射指数有关,一

一般在 0~0.5 范围内^[22]. 根据 CE-318 的 2 个不受水汽吸收影响的通道(440 nm 和 870 nm)的 AOT, 利用公式(1), 计算得到 α . 便于分析, 本研究使用 AOT(500 nm)的结果.

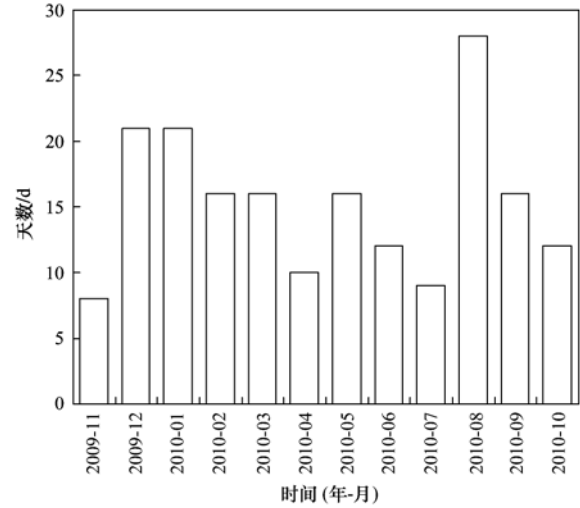


图2 CE-318-B 每月的观测天数

Fig. 2 Observation days per month of CE-318-B

2 结果与讨论

2.1 AOT(500 nm)、Ångström 参数的月变化

将 CE-318-A(2005 年 9 月~2009 年 10 月)和 CE-318-B(2009 年 11 月~2010 年 10 月)的 AOT(500 nm)和 Ångström 参数 α 值作日平均处理以代表该天的情况,然后再利用这些日均值作月平均,得到如表 1 所示的 AOT(500nm)和 Ångström 参数 α 的月变化以及每月的观测天数情况.

从表 1 得知,2~4 月和 5~6 月 AOT(500 nm)值逐渐增加,7~8 月 AOT 有不同程度的降低;9~11 月 AOT 值较低,而且较为稳定;12 月~次年 1 月,AOT 处于最低值区. 其中 AOT(500 nm)最大最小值分别为 6 月的 1.29 ± 0.73 和 12 月的 0.70 ± 0.40 . 另外综合 5 a 的观测资料发现,AOT 的高值区出现在 6、7 月,低值区出现在秋冬季节的 10 月~次年 1 月.

太湖上空 AOT 这种变化主要与该地区的天气形势有关.3~4 月太湖地区正值春季,受北方频发的沙尘天气的影响,致使 AOT(500 nm)增大^[18];5~6 月太湖地区进入夏季,空气相对湿度增大,吸湿性的气溶胶粒子吸收空气中的水分后体积膨胀^[23];大气中水溶性气溶胶粒子增加^[24],使得 AOT(500 nm)值在 5~6 月持续升高;夏季光照强烈,光化学反应也会增加大气中气溶胶的含量^[25];另外 6 月

初太湖周边农作物秸秆的燃烧释放大量的烟尘颗粒,导致 6 月的 AOT(500 nm)达到全年的最大值;7~8 月,AOT(500 nm)值有不同程度的降低,与该地区频发的强降雨对大气中气溶胶粒子清除作用有关^[1,25];9~11 月,太湖地区进入秋季,降雨量减少,多为晴好天气,AOT(500 nm)值低而且较为稳定;12~1 月,冬季发生的降雨和降雪对气溶胶粒子有一定的湿清除作用,使得该时间段的 AOT 处于最低值区. 从表 1 得知,6、7、8 月这 3 个月的 AOT 的标准偏差均高于其他月份的,表明夏季剧烈变化的天气会引起 AOT 发生巨大的变化,同时也导致了 7 月的观测天数明显少于其他月份. 另外,综合 5 a 的观测资料,12 个月的 AOT(500 nm)的标准偏差均超过各自的一半,表明太湖上空的 AOT 随时间变化很大.

从 α 值分布来看(表 1),除了处于四季交替的月份如 3、5、9、11 月的 α 值变化较大以外,其余分布于 12~2 月、3~4 月、6~8 月、9~11 月这 4 个时期的 α 值虽然大小不一致,但变化不大;其中, α 的最大最小值则分别为 9、10 月的 1.33 和 4 月的 1.0. 另外从 5 a 的观测资料发现, α 的低值区和高值区分别出现在 3~4 月和 9~11 月. 其中,3~4 月, α 值达到全年的最小值,由于受北方沙尘天气影响,此时太湖上空所包含的大颗粒的气溶胶粒子高于其他月份的;5~8 月,太湖地区降雨量逐渐增多,降雨对大颗粒的气溶胶粒子的清除作用, α 略微增加;但与此同时,随着相对湿度的增加,大气中水溶性的细粒子增加^[24],导致该阶段 AOT 仍然偏高;另外受到季风气候影响,从海洋上空带来的大量的细粒子气溶胶^[25],以及本地区大量生物质燃料燃烧等影响^[26],使得太湖上空的细粒子气溶胶增加,致使 α

表 1 AOT(500 nm) 和的 α 月变化

Table 1 Monthly variations of AOT(500 nm) and α

月份	AOT(500 nm)	α	观测天数/d
1	0.71 ± 0.37	1.18 ± 0.25	68
2	0.79 ± 0.37	1.20 ± 0.22	71
3	0.82 ± 0.48	1.01 ± 0.28	84
4	0.87 ± 0.42	1.0 ± 0.28	72
5	0.87 ± 0.46	1.12 ± 0.32	93
6	1.29 ± 0.73	1.18 ± 0.19	46
7	1.0 ± 0.59	1.21 ± 0.23	14
8	0.74 ± 0.58	1.26 ± 0.27	79
9	0.88 ± 0.51	1.33 ± 0.18	67
10	0.80 ± 0.41	1.33 ± 0.21	95
11	0.80 ± 0.56	1.28 ± 0.18	69
12	0.70 ± 0.40	1.13 ± 0.23	67

值持续增加。9~11月,太湖地区进入秋季,出现大风天气的概率较低,多为晴好天气,使得 α 的值明显偏高,而且值较为稳定。12月~次年1月,北方冷空气活动频繁,南下的过程中常伴有的大风天气使得干燥地面的尘土粒子大气中^[25],致使 α 的值降低。

2.2 AOT(500 nm)、Ångström 参数季节变化

按照北半球平均气温将太湖地区的四季做如下划分:11月下旬至次年2月底为冬季、3月上旬至5月中旬为春季、5月底至9月上旬为夏季、9月中旬至11月中旬为秋季。将CE-318-A(2005年9月~2009年10月)和CE-318-B(2009年11月~2010年10月)的AOT(500 nm)和Ångström参数 α 值作日平均处理以代表该天的情况,然后再利用这些日均值作季节平均,从而得到如表2所示的2005~2010年AOT(500 nm)和Ångström参数 α 的季节变化。

从5a的观测资料中得知,夏季的AOT(500 nm)达到全年的最大值,这与和Zhang等^[25]和Guo

等^[27]的研究结果一致;最小值基本出现在秋冬季节。5a的观测资料中还显示春季太湖的AOT(500 nm)值均在0.77以上,大于我国东海海域春季的AOT(约0.50)^[28],表明除了沙尘天气的影响之外,生物质燃烧,周围城市大气污染物的排放等,也会使太湖上空的AOT增大^[18]。四季中AOT(500 nm)的标准差较大,除2005~2006年春季情况以外,其余均超过各自平均值的50%,表明四季中AOT(500 nm)值变化幅度较大;另外综合5a的观测资料显示,四季的AOT(500 nm)均超过0.5,表明太湖地区的大气较为浑浊。

α 的最小值均出现在春季,最大值基本出现在秋季。表明春季太湖上空大颗粒的气溶胶粒子最多,秋季太湖上空的气溶胶粒子主要以小颗粒为主、大气较为清洁。另外表2还显示,春季 α 的标准偏差均大于其他3个季节的,表明春季太湖上空气溶胶粒子的粒径变化幅度较大。

表2 AOT(500 nm)(用AOT表示)和Ångström参数 α 的季节变化

Table 2 Seasonal variations of AOT(500 nm) and the Ångström parameter α

季节	2005~2006年		2006~2007年		2007~2008年		2008~2009年		2009~2010年	
	AOT	α	AOT	α	AOT	α	AOT	α	AOT	α
冬	0.72±0.39	1.12±0.23	0.94±0.47	1.19±0.21	0.76±0.33	1.27±0.22	0.52±0.28	1.15±0.27	0.79±0.39	1.17±0.21
春	0.80±0.36	0.86±0.26	0.91±0.49	1.10±0.28	0.80±0.35	1.07±0.30	0.79±0.50	1.14±0.28	0.77±0.42	0.94±0.26
夏	0.90±0.68	1.33±0.21	0.98±0.60	1.16±0.27	1.59±0.76	1.14±0.26	0.94±0.48	1.46±0.16	0.82±0.54	1.23±0.21
秋	0.89±0.60	1.31±0.13	0.95±0.52	1.28±0.16	0.75±0.46	1.39±0.16	0.73±0.40	1.24±0.26	0.62±0.32	1.37±0.21

2.3 AOT(500 nm)和Ångström 参数的频率分布

2005年9月~2010年10月AOT(500 nm)和Ångström参数 α 日均值的频率分布(图3)表明,AOT(500 nm)只有1个峰值, α 有2个峰值。如图3(a)所示,在5a的观测中AOT(500 nm)出现的最高频率值在0.4~0.6之间,约占26%,在0.6~1.8区间,AOT频率递减,但趋势较缓,落在较大值区间(AOT>0.8)的AOT占总样本约42%,在极端高值区间(AOT>1.8)的AOT约占总样本的5%[图3(a)]。AOT(500 nm)5a的平均值为0.80,是最小值(0.10)的约7倍,与中国其他观测点相比,大于浙江临安地区的0.61^[29],香河观测站的0.77^[30],小于四川盐亭观测站的0.90^[15],表明太湖上空的AOT值较大。根据Beer-Bouguer-Lambert定理^[31]计算不同AOT下的透过率可知,在太湖地区目前的平均AOT(500 nm)情况下,气溶胶造成的太阳直射辐射的透过率衰减为50%以上,致使该区域的大气透明度差、空气较为混浊,并可引起严重的雾霾天气,这可能与该地区发达的工农业生产释放较多的气溶胶有关^[10];另外由于该站点紧靠太湖,而据Zhang

等^[25]的研究,AOT主要取决于研究区域的相对湿度,因此太湖湖面释放的大量水汽对该地区AOT的影响也不能忽视。

如图3(b)所示, α 在0.5~1.3区间的频率递增,最高频率区间为1.1~1.3和1.3~1.5,分别占总样本的30%,落在大值区间1.1~1.7的 α 值占总样本的70%左右,综合5a的观测资料得知 α 的年均值为1.17,略大于胶州湾的1.11,与黑龙江三江平原的1.16相当,小于西双版纳的1.4^[15],表明太湖上空气溶胶粒子平均有效半径较小,属于城市-工业型气溶胶^[32]。

2.4 AOT(500 nm)和Ångström 参数的关系

通常选取各观测时段的AOT(500 nm)和 α 的日均值,得到了AOT(500 nm)与 α 的散点图(图4)。从总体趋势来看两者呈负相关关系。当 α 分布在0~0.3、0.3~0.6、0.6~0.9、0.9~1.2、1.2~1.5、1.5~1.8区间时,对应的AOT(500 nm)的均值分别为1.40±0.65、0.84±0.50、0.87±0.50、0.88±0.59、0.80±0.45、0.82±0.41,两者的相关性较差,主要与太湖上空存在着不同组分的气溶胶

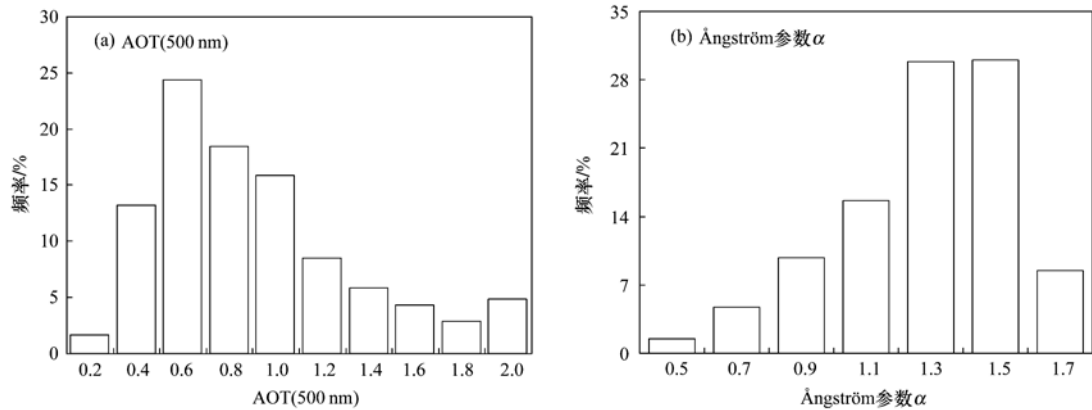
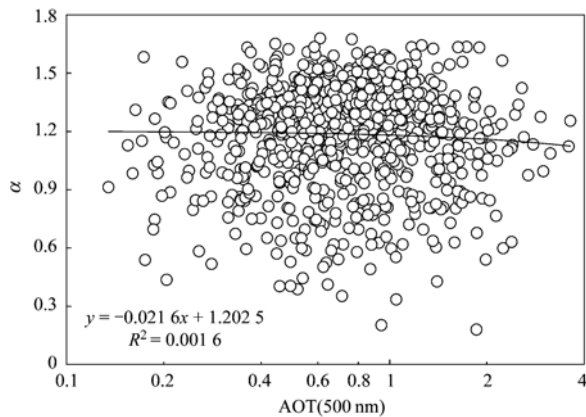


图3 日均值频率分布示意

Fig. 3 Frequency distribution of the daily averages

图4 AOT(500 nm)与 α 的拟合关系Fig. 4 Fitting correlation of AOT(500 nm) and α

粒子(例如:细粒子、沙尘粒子等)有关,从 α 的日均值变化范围较大(0.18~1.70)中得到证实,除了受到天气因素、排放源等因素之外,还与气溶胶粒子碰撞凝结有关^[30]。

IOCCG 的研究报告^[33]指出,气溶胶类型以及组分是影响遥感反演水体反射信号精度的重要因素之一,当大气中含有吸收性气溶胶(对入射辐射具有较强的吸收作用,主要来源于化石燃料和生物燃料的不完全燃烧^[34])时,将会给遥感反演水体反射信息造成约35%~60%的误差,因此弄清太湖上空气溶胶的组分对水色遥感大气校正精确的提升起到重大作用。虽然依据 α 可以判定气溶胶的类型^[9],但不同类型气溶胶粒子的AOT值在大小上并不是严格区分的^[32,35];即使是同一类型下的气溶胶,以生物质燃烧释放的气溶胶为例($\alpha > 1.5$)^[35],其对应的AOT的标准偏差为AOT值的一半以上,表明AOT的变化较大,分布在其他区间内 α 对应的AOT值也出现类似的情况,这就给判断气溶胶的组分带

来困难。弄清太湖上空各种气溶胶粒子的组分,除了需要结合气溶胶的其他光学性质参数(如单次散射反照率)之外,还需要采用其他分析手段,如采集各个季节的大气样本,实验室分析等等,今后将做进一步的研究。

3 结论

(1) AOT(500 nm)值在2~4月和5~6月逐渐增加,7~8月有不同程度的降低;9~11月AOT值较低,而且较为稳定。其中AOT(500 nm)最大最小值分别为6月的 1.29 ± 0.73 和12月的 0.70 ± 0.40 ;除了处于四季交替的月份如3、5、9、11月的 α 值变化较大以外,其余时期的 α 值虽然大小不一,但较为稳定;其中, α 的最大最小值则分别为9、10月的1.33和4月的1.0。另外,AOT的高值区出现在6、7月,低值区出现在10月~次年1月; α 的低值区和高值区分别出现在3~4月和9~11月。

(2) 太湖地区AOT(500 nm)的最大值出现在夏季,最小值基本出现在秋冬季节。四季中AOT(500 nm)的值 > 0.5 ,而且各自的标准差基本超过各自平均值的50%,表明四季中太湖地区不仅大气较为浑浊,而且AOT随时间变化的幅度的较大; α 的最小值均出现在春季,最大值基本出现在秋季,表明春季太湖上空大颗粒的气溶胶粒子较多,秋季太湖上空主要以细粒子为主。太湖上空AOT(500 nm)及对应的Ångström参数 α 的变化主要与该地区的天气形势有关。

(3) AOT(500 nm)的频率分布只有一个峰值,最高频率值为0.4~0.6,约占总样本的26%,年平均值为0.80;按平均AOT(500 nm)计算,气溶胶造成的太阳直射辐射的透过率衰减至少为50%,致使

太湖地区的大气较为混浊,可造成严重的雾霾天气;Ångström 波长指数 α 的频率分布有两个峰值,最高频率区间为 1.1 ~ 1.3 和 1.3 ~ 1.5,分别占总样本的 30%,落在大值区间 1.1 ~ 1.7 的 α 值占总样本的 70% 左右,综合 5 a 的观测资料得知 α 的年均值为 1.17,表明太湖上空气溶胶粒子平均有效半径较小,属于城市-工业型气溶胶。

(4) AOT(500 nm) 的日均值变化范围很大,最大值约为 3.66,是最小值 0.13 的 32 倍左右; α 的日均值变化范围较大(0.18 ~ 1.70),表明太湖上空有不同类型的气溶胶粒子共存(例如:细粒子、沙尘粒子等);从总体趋势来看 AOT(500 nm) 和 α 两者呈负相关关系。

致谢:感谢美国马里兰大学的李占清教授提供部分观测资料。

参考文献:

- [1] 王明星. 大气化学[M]. 北京:气象出版社,1999. 167-183.
- [2] 徐希孺. 遥感物理[M]. 北京:北京大学出版社,2005. 343-344.
- [3] 马荣华,段洪涛,唐军武,等. 湖泊水环境遥感[M]. 北京:科学出版社,2010. 239-266.
- [4] Kocifaj M, Gueymard C A. Theoretical evaluation of errors in aerosol optical depth retrievals from ground-based direct-sun measurements due to circumsolar and related effects [J]. *Atmospheric Environment*, 2011, **45**(4): 1050-1058.
- [5] Kaufman Y J, Tanré D, Remer L A, *et al.* Operational remote sensing of tropospheric aerosol over land from EOS moderate resolution imaging spectroradiometer[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1997, **102**(D14): 17051-17067.
- [6] Xia X A, Li Z Q, Holben B N, *et al.* Aerosol optical properties and radiative effects in the Yangtze delta region of China[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2007, **112**(D22): D22S12, doi: 10.1029/2007JD008859.
- [7] 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.
- [8] Holben B N, Eck T F, Slutsker I, *et al.* AERONET-A federated instrument network and data archive for aerosol characterization [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1998, **66**(1): 1-16.
- [9] Smirnov A, Holben B N, Eck T F, *et al.* Diurnal variability of aerosol optical depth observed at AERONET (Aerosol Robotic Network) sites [J]. *Geophysical Research Letters*, 2002, **29**(23): 2115, doi: 10.1029/2002GL016305.
- [10] He Q S, Li C C, Tang X, *et al.* Validation of MODIS derived aerosol optical depth over the Yangtze River delta in China[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2010, **114**(8): 1649-1661.
- [11] Han Z W, Zhang R J, Wang Q G, *et al.* Regional modeling of organic aerosols over China in summertime [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2008, **113**(D11): D11202, doi: 10.1029/2007JD009436.
- [12] Che H Z, Zhang X Y, Li Y, *et al.* Horizontal visibility trends in China 1981-2005 [J]. *Geophysical Research Letters*, 2007, **34**(24): L24706, doi: 10.1029/2007GL031450.
- [13] Hu H, Xu J, Zhao F, *et al.* The characteristics of aerosol distributions in some places of China [R]. Beijing: China, 1986. 536-537.
- [14] Mi W, Li Z Q, Xia X G, *et al.* Evaluation of the moderate resolution imaging spectroradiometer aerosol products at two aerosol robotic network stations in China [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2007, **112**(D22): D22S08, doi: 10.1029/2007JD008474.
- [15] Xin J Y, Wang Y S, Li Z Q, *et al.* Aerosol optical depth (AOD) and Ångström exponent of aerosols observed by the Chinese sun hazemeter network from august 2004 to september 2005 [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2007, **112**(D5): D05203, doi: 10.1029/2006JD007075.
- [16] 邓学良,邓伟涛,何冬燕. 近年来华东地区大气气溶胶的时空特征[J]. *大气科学学报*, 2010, **33**(3): 347-354.
- [17] Li Z Q, Niu F, Lee K H, *et al.* Validation and understanding of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer aerosol products (C5) using ground-based measurements from the handheld sun photometer network in China [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2007, **112**(D22): D22S07, doi: 10.1029/2007JD008479.
- [18] Lee K H, Li Z Q, Cribb M C, *et al.* Aerosol optical depth measurements in eastern China and a new calibration method [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2010, **115**(D0): D00K11, doi: 10.1029/2009JD012812.
- [19] Eck T F, Holben B N, Reid J S, *et al.* Wavelength dependence of the optical depth of biomass burning, urban, and desert dust aerosols [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1999, **104**(D24): 31333-31349.
- [20] Smirnov A, Holben B N, Eck T F, *et al.* Cloud-screening and quality control algorithms for the AERONET database [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2000, **73**(3): 337-349.
- [21] Che H Z, Zhang X Y, Chen H B, *et al.* Instrument calibration and aerosol optical depth validation of the China Aerosol Remote Sensing Network [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2009, **114**(D3): D03206, doi: 10.1029/2008JD11030.
- [22] Gueymard C A. Turbidity determination from broadband irradiance measurements: a detailed multicoefficient approach [J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1998, **37**(4): 414-435.
- [23] 段婧,毛节奏. 长江三角洲大气气溶胶光学厚度分布和变化趋势研究[J]. *环境科学学报*, 2007, **27**(4): 537-543.
- [24] Shettle E P, Fenn R W. Models for the aerosols of the lower atmosphere and the effects of humidity variations on their optical properties [R]. USA: Air Force Cambridge Research Laboratory, 1979. 12-50.
- [25] Zhang L, Liao H, Li J P. Impacts of Asian summer monsoon on seasonal and interannual variations of aerosols over eastern China [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2010, **115**(D0):

- D00K05, doi: 10.1029/2009JD012299.
- [26] Schuster G L, Dubovik O, Holben B N, *et al.* Angstrom exponent and bimodal aerosol size distributions[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2006, **111** (D7): D07207, doi: 10.1029/2005JD006328.
- [27] Guo J P, Zhang X Y, Wu Y R, *et al.* Spatio-temporal variation trends of satellite-based aerosol optical depth in China during 1980-2008 [J]. *Atmospheric Environment*, 2011, **45** (37): 6802-6811.
- [28] 申彦波, 王标, 石广玉. 2006 年春季我国东部海域气溶胶光学厚度与沙尘天气[J]. *地球科学进展*, 2008, **23** (3): 290-298.
- [29] Xu J, Bergin M H, Yu X, *et al.* Measurement of aerosol chemical, physical and radiative properties in the Yangtze delta region of China[J]. *Atmospheric Environment*, 2002, **36** (2): 161-173.
- [30] Li Z Q, Xia X G, Cribb M, *et al.* Aerosol optical properties and their radiative effects in northern China [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2007, **112** (D22): D22S01, doi: 10.1029/2006JD007382.
- [31] Biggar S F, Gellman D I, Slater P N. Improved evaluation of optical depth components from langley plot data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1990, **32** (2-3): 91-101.
- [32] 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.
- [33] Wang M, Antoine D, Deschamps P Y, *et al.* Atmospheric correction for Remotely-Sensed Ocean-Color Products [R]. Canada: International Ocean-Colour Coordinating Group, 2010. 15-58.
- [34] Menon S, Hansen J, Nazarenko L, *et al.* Climate effects of black carbon aerosols in China and India[J]. *Science*, 2002, **297** (5590): 2250-2253.
- [35] Toledano C, Cachorro V E, Berjon A, *et al.* Aerosol optical depth and Ångström exponent climatology at El Arenosillo AERONET site (Huelva, Spain) [J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2007, **133** (624): 795-807.

CONTENTS

Isotopic Composition and Isotope Tracing of Sulfur in Atmospheric Precipitation at the Head Area of the Three Gorges Reservoir, China	WU Qi-xin, HAN Gui-lin (2145)
Characterization and Reconstruction of Aerosol Light Scattering Coefficient at Chengdu During Biomass Burning and Dust Storm Period in Spring	YUE Jian-hua, TAO Jun, LIN Ze-jian, <i>et al.</i> (2151)
Aerosol Optical Thickness of the Atmospheric Aerosol over Taihu Lake and Its Features; Results of In-site Measurements	RAO Jia-wang, MA Rong-hua, DUAN Hong-tao, <i>et al.</i> (2158)
Seasonal Variations in the Vertical Distribution of Aerosols During Dry Haze Periods in Regions Around Shanghai	XU Ting-ting, QING Yan, GENG Fu-hai, <i>et al.</i> (2165)
Size Distributions and Diurnal Variations in the Concentrations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Winter in Urban and Suburban Nanjing, China	ZHANG Hong-liang, FAN Shu-xian, GU Kai-hua, <i>et al.</i> (2172)
Seasonal Distribution of Water-Soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol in Qingdao	LIU Zhen, QI Jian-hua, WANG Lin, <i>et al.</i> (2180)
Pollution Characteristics of Microbial Aerosols Generated from a Municipal Sewage Treatment Plant	QIU Xiong-hui, LI Yan-peng, NIU Tie-jun, <i>et al.</i> (2191)
Estimation of the Effect Derived from Wind Erosion of Soil and Dust Emission in Tianjin Suburbs on the Central District Based on WEPS Model	CHEN Li, HAN Ting-ting, LI Tao, <i>et al.</i> (2197)
Variation of Nutrient Concentrations at the Inshore Coastal Area of Northern Jiangsu Province and the Occurrence of Green Tide Caused by <i>Enteromorpha prolifera</i>	GAO Song, SHI Xiao-yong, WANG Ting (2204)
Analysis on Characteristics of Red Tide in Fujian Coastal Waters During the Last 10 Years	LI Xue-ding (2210)
Review on HSPF Model for Simulation of Hydrology and Water Quality Processes	LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, LI Yan (2217)
Parameter Uncertainty Analysis for Urban Rainfall Runoff Modelling	HUANG Jin-liang, LIN Jie, DU Peng-fei (2224)
Estimation of DOC Concentrations Using CDOM Absorption Coefficients; A Case Study in Taihu Lake	JIANG Guang-jia, MA Rong-hua, DUAN Hong-tao (2235)
Weight Parameters of Water Quality Impact and Risk Grade Determination of Water Environmental Sensitive Spots in Jianshan	XIE Rong-rong, PANG Yong, ZHANG Qian, <i>et al.</i> (2244)
Diurnal Variation and Evaluation of Water Quality in Different Seasons of Panxi River in Chongqing	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (2251)
Responses of Wetland Water Quality to Influence the Strengthness of Urbanization in Nanjing, China	HAO Jing-feng, LIU Hong-yu, HU He-bing, <i>et al.</i> (2259)
Studies on Relationship of Phytoplankton and Water Environmental Factors in Shahu Lake	QIU Xiao-cong, ZHAO Hong-xue, SUN Xiao-xue (2265)
Influence on the Spatial Distribution of Fish in Taizi River Basin by Environmental Factors at Multiple Scales	DING Sen, ZHANG Yuan, QU Xiao-dong, <i>et al.</i> (2272)
Comparison and Application of Biological Indices of Macroinvertebrates in River Health Assessment	GENG Shi-wei, QU Xiao-dong, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (2281)
Spatial and Temporal Distribution of Total Mercury (T-Hg) in Different Water Bodies of Nam Co, Tibetan Plateau	WANG Kang, KANG Shi-chang, GUO Jun-ming, <i>et al.</i> (2288)
Temporal and Spatial Variations of Major Ions in Nam Co Lake Water, Tibetan Plateau	GUO Jun-ming, KANG Shi-chang, ZHANG Qiang-gong, <i>et al.</i> (2295)
Eutrophication Control in Local Area by Physic-ecological Engineering	LI Qiu-hua, XIA Pin-hua, WU Hong, <i>et al.</i> (2303)
Nitrogenous Fluxes and Its Self-Purification Capacity in Lake Taihu	CHEN Xiao-feng, CHUAI Xiao-ming, ZENG Jin, <i>et al.</i> (2309)
Response of Phosphorus Components in Sediments from Eutrophic Lake to External Sulfate	YUAN Tan, HUA Yu-mei, ZHU Duan-wei, <i>et al.</i> (2315)
Spatial Distribution Character of Phosphorus Fractions in Surface Sediment from Chaohu Lake	WEN Sheng-fang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong (2322)
Long-range Transport Potential of Typical Organic Pollutants in Nanjing	FANG Li-jiang, WU You-fang, DING Zhong-yuan, <i>et al.</i> (2330)
Distribution of Black Carbon in the Surface Sediments of the East China Sea and Their Correlations with Persistent Organic Pollutants	LIN Tian, FANG Yin, CHEN Ying-jun, <i>et al.</i> (2335)
Contamination Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Surface Water from Jialing River in Chongqing	CAI Wen-liang, LUO Gu-yuan, XU Xiao-yi, <i>et al.</i> (2341)
Levels, Distribution and Possible Sources of Polychlorinated Biphenyls in River Sediments from an Electronic Waste Recycling Area	WANG Xue-tong, LI Yuan-cheng, MIAO Yi, <i>et al.</i> (2347)
Assessment Model for Heavy Metal Pollution in Sediment Based on Trapezoidal Fuzzy Numbers and Case Study	LI Fei, HUANG Jin-hui, ZENG Guang-ming, <i>et al.</i> (2352)
Impact of Coastal Exploitation on the Heavy Metal Contents in the Sediment of Bohai Bay	QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, LI Xiao-bao, <i>et al.</i> (2359)
Spatial Distribution and Contamination Evaluation of Heavy Metals in the Intertidal Surface Sediments of Eastern Chongming	LI Ya-juan, YANG Shi-lun, HOU Li-jun, <i>et al.</i> (2368)
Speciation and Vertical Distribution of Heavy Metals in Sediments of Baiyangdian Lake	LI Bi-cai, HE Lian-sheng, YANG Min, <i>et al.</i> (2376)
AVS Concentrations in Xinan Creek and the Influencing Factors	LIU Xiao-bing, WEN Yan-mao, LI Feng, <i>et al.</i> (2384)
Mechanism of NH_4^+ -N Removal in Drinking Water Biofilter	LIU Bing, FAN Hui, YU Guo-zhong, <i>et al.</i> (2394)
Characterization and Thermodynamic Properties of Cu(II) Imprinted Chitosan Crosslinked Membrane	ZHANG Yu-hong, ZHANG Ai-li, ZHOU Ji-ti, <i>et al.</i> (2403)
Studies on the Degradation of Paracetamol in Sono-electrochemical Oxidation	DAI Qi-zhou, MA Wen-jiao, SHEN Hong, <i>et al.</i> (2410)
Study on Treatment of Methylene Blue Wastewater by Fly Ash Adsorption-Fenton and Thermal Regeneration	BAI Yu-jie, ZHANG Ai-li, ZHOU Ji-ti (2419)
Electricity Generation Performance of Two-Chamber Microbial Full Cell in the Treatment of Simulated Wastewater	ZHANG Yong-juan, LI Yong-feng, LIU Chun-yan, <i>et al.</i> (2427)
Preparation and Characterization of Zn/Cr-LDHs and Their Removal Performances of Reactive Brilliant Orange X-GN	WANG Xiao-rong, WU Ping-xiao (2432)
Transport Processes of Low-level Radioactive Liquid Effluent of Nuclear Power Station in Closed Water Body	WU Guo-zheng, XU Zong-xue (2438)
Analysis of Carbon Balance and Study on Mechanism in Anoxic-Oxic-Settling-Anaerobic Sludge Reduction Process	ZHAI Xiao-min, GAO Xu, ZHANG Man-man, <i>et al.</i> (2444)
Effect of Mixed Carbon Sources in the Granulation Process of EBPR System	JIANG Tao, SUN Pei-de, XU Shao-juan (2451)
Biocatalyst of Redox Mediators on the Denitrification by <i>Paracoccus versutus</i> Strain GW1	LI Hai-bo, LIAN Jing, GUO Yan-kai, <i>et al.</i> (2458)
Isolation of a High Hydrogen-producing Mutant TB34 Generated by Transposon Insertion and Analysis of Hydrogen Production	LIU Hong-yan, WANG Guang-ce, SHI Liu-yang, <i>et al.</i> (2464)
Condition Optimization for Degradation of Chlorophenols Using Laccase from <i>Amillariella mellea</i>	QIN Ren-bing, ZHU Xian-feng, WU Ke, <i>et al.</i> (2470)
Characterization of CH_4 , N_2O Emission and Selection of Rice Cultivars in Double Cropping Rice Fields	FU Zhi-qiang, ZHU Hua-wu, CHEN Can, <i>et al.</i> (2475)
Short-term Effects of Exogenous Nitrogen on CH_4 and N_2O Effluxes from <i>Cyperus malaccensis</i> Marsh in the Min River Estuary	MOU Xiao-jie, LIU Xing-tu, TONG Chuan, <i>et al.</i> (2482)
Temporal-spatial Variations of Total Nitrogen in the Degraded Grassland of Three-River Headwaters Region in Qinghai Province	PENG Jing-tao, LI Guo-sheng, FU Wa-li, <i>et al.</i> (2490)
Temporal Variations of Clay Content in Eroded Sediment Under Different Rainfall Condition	WU Feng-zhi, SHI Zhi-hua, FANG Nu-fang, <i>et al.</i> (2497)
Effects of Soil Properties on the Stabilization Process of Cadmium in Cd Alone and Cd-Pb Contaminated Soils	WU Man, XU Ming-gang, ZHANG Wen-ju, <i>et al.</i> (2503)
<i>In-situ</i> Remediation of Polychlorinated Biphenyls Polluted Soil by Ecological Controlling Measures; A Field Trial	PAN Cheng, TENG Ying, LUO Yong-ming, <i>et al.</i> (2510)
Characterization Comparison of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Uptake by Roots of Different Crops	LIANG Xiao, ZHAN Xin-hua, ZHOU Li-xiang (2516)
Characteristics and Mechanism of Sodium Removal by the Synergistic Action of Flue Gas and Waste Solid	YI Yuan-rong, HAN Min-fang (2522)
Decomposition Model of Energy-Related Carbon Emissions in Tertiary Industry for China	LU Yuan-qing, SHI Jun (2528)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年7月15日 33卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 7 Jul. 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人