

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第1期

Vol.34 No.1

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

长三角背景地区秋冬季节大气气态总汞含量特征研究	窦红颖,王书肖,王龙,张磊,郝吉明	(1)
厦门城区大气颗粒物 PM ₁₀ 中有机酸源谱特征分析	杨冰玉,黄星星,郑桢,刘碧莲,吴水正	(8)
兴隆大气气溶胶中水溶性无机离子分析	李杏茹,宋爱利,王英锋,孙颖,刘子锐,王跃思	(15)
气相组分对氨吸收同步脱除模拟烟气 SO ₂ 和 NO _x 的影响	王鸿,朱天乐,王美艳	(21)
麦秸全量还田下太湖地区两种典型水稻土稻季氮挥发特性比较	汪军,王德建,张刚,王远	(27)
单光子/光电子在线质谱实时分析聚氯乙烯热分解/燃烧产物	陈文东,侯可勇,陈平,李芳龙,赵无垠,崔华鹏,花磊,谢园园,李海洋	(34)
碱性活性炭表面特征及其吸附甲烷的研究	张梦竹,李琳,刘俊新,孙永军,李国滨	(39)
夏季黄渤海表层海水中二甲亚砜(DMSO)的浓度分布	王敏,张洪海,杨桂朋	(45)
2010年秋季长江口口外海域 CDOM 的三维荧光光谱-平行因子分析	闫丽红,陈学君,苏荣国,韩秀荣,张传松,石晓勇	(51)
基于集合均方根滤波的太湖叶绿素 a 浓度估算与预测	李渊,李云梅,王桥,张卓,郭飞,吕恒,毕坤,黄昌春,郭宇龙	(61)
基于 HJ1A-CCD 数据的高光谱影像重构研究	郭宇龙,李云梅,朱利,徐德强,李渊,檀静,周莉,刘阁	(69)
重庆雪玉洞岩溶地下河地球化学敏感性研究	徐尚全,杨平恒,殷建军,毛海红,王鹏,周小萍	(77)
区域点源和非点源磷入河量计算的二元统计模型	陈丁江,孙嗣畅,贾颖娜,陈佳勃,吕军	(84)
秦淮河典型河段总氮总磷时空变异特征	李跃飞,夏永秋,李晓波,熊正琴,颜晓元	(91)
湘江沉积物镉和汞质量基准的建立及其应用	蒋博峰,桑磊鑫,孙卫玲,郝伟,李丽,邓宝山	(98)
丹江口水库迁建区土壤重金属分布及污染评价	张雷,秦延文,郑丙辉,时瑶,韩超男	(108)
汾河水库周边土壤重金属含量与空间分布	李晋昌,张红,石伟	(116)
黄河下游引黄灌区地下水重金属分布及健康风险评估	张妍,李发东,欧阳竹,赵广帅,李静,柳强	(121)
胶州湾、套子湾及四十里湾表层沉积物中有机氯农药的含量和分布特征	刘艺凯,钟广财,唐建辉,潘晓辉,田崇国,陈颖军	(129)
基于干扰梯度的钦江流域底栖动物完整性指数候选参数筛选	卢东琪,张勇,蔡德所,刘朔孺,陈燕海,王备新	(137)
海洋细菌 <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 分离鉴定及对中肋骨条藻的化感作用	王洪斌,陈文慧,李信书,李士虎,阎斌伦	(145)
水稻秸秆浸泡液对铜绿微囊藻生理特性的影响	苏文,孔繁翔,于洋,贾育红,张民	(150)
化感物质肉桂酸乙酯对蛋白核小球藻生长及生理特性的影响	高李李,郭沛涌,苏光明,魏燕芳	(156)
无负压供水模式下管网水力模拟与安全评价分析	王欢欢,刘书明,姜帅,孟凡琳,白璐	(163)
天然有机物的相对分子量分布及亲疏水性对微滤膜组合工艺中膜污染的影响	胡孟柳,林洁,许光红,董秉直	(169)
不同基质条件下透性处理对脱硫弧菌硫酸盐还原活性的影响	徐慧伟,张旭,李立明,郑光洁,李广贺	(177)
基于零价铁的双金属体系对六氯苯还原脱氯研究	曾宪委,刘建国,聂小琴	(182)
负载型 TiO ₂ 光电催化降解孔雀石绿的动力学研究	张小娜,周少奇,周晓	(188)
污水厂微孔曝气系统工况下充氧性能测试与分析	吴媛媛,周小红,施汉昌,邱勇	(194)
微气泡及其产生方式对活性污泥混合液性质的影响	刘春,马锦,张磊,张静,张明,吴根	(198)
不同氮浓度冲击对颗粒污泥脱氮过程中 N ₂ O 产生量的影响	韩雪,高大文	(204)
模拟电镀污泥重金属浸出液对氧化亚铁硫杆菌活性的影响	谢鑫源,孙培德,楼菊青,郭茂新,马王钢	(209)
嗜麦芽窄食单胞菌对铜镉的吸附特性与离子交换	白洁琼,尹华,叶锦韶,彭辉,唐立栉,何宝燕,李跃鹏	(217)
阴离子表面活性剂改性水滑石吸附硝基苯的特性研究	夏燕,朱润良,陶奇,刘汉阳	(226)
活性氧化铝对水中磷的去除与回收研究	孟文娜,谢杰,吴德意,张振家,孔海南	(231)
北京城区可吸入颗粒物分布与呼吸系统疾病相关分析	杨维,赵文吉,官兆宁,赵文慧,唐涛	(237)
北京市市售鸡蛋和鸭蛋中全氟化合物的污染水平研究	齐彦杰,周珍,史亚利,孟昭福	(244)
北京市场常见淡水食用鱼体内农药残留水平调查及健康风险评估	千志勇,金芬,孙景芳,原盛广,郑蓓,张文婧,安伟,杨敏	(251)
多效应残差法(MERA)表征二甲亚砜-农药二元混合物毒性相互作用	霍向晨,刘树深,张晶,张瑾	(257)
利用 DGGE-菌落原位杂交法分离土壤中精喹禾灵降解菌	吕欣,彭霞薇,呼庆,马安周,江泽平,魏远	(263)
不同白腐真菌复配方式对产酶的影响	孟瑶,梁红,高大文	(271)
不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响	张瑞,张贵龙,姬艳艳,李刚,常泓,杨殿林	(277)
垦殖对湿地土壤有机碳垂直分布及可溶性有机碳截留的影响	霍莉莉,邹元春,郭佳伟,吕宪国	(283)
黄河三角洲碱蓬湿地土壤有机碳及其组分分布特征	董洪芳,于君宝,管博	(288)
丘陵林地土壤酸化改良剂的集中施用-自然扩散修复技术研究	方熊,刘菊秀,尹光彩,赵亮,刘世忠,褚国伟,李义勇	(293)
重度滴滴涕污染土壤低温等离子体修复条件优化研究	陈海红,骆永明,滕应,刘五星,潘澄,李振高,黄玉娟	(302)
无定形 Fe(OH) ₃ 和 Fe ₃ O ₄ 共沉淀态 As 的化学提取	陈义萍,王少锋,贾永锋	(308)
铝和锰对外生菌根真菌生长、养分吸收及分泌作用的影响	李华,黄建国,袁玲	(315)
污泥和餐厨垃圾联合干法中温厌氧消化性能研究	段妮娜,董滨,李江华,戴翎翎,戴晓虎	(321)
高比表面生物质炭的制备、表征及吸附性能	李坤权,李焯,郑正,桑大志	(328)
基于情景分析的浙江沿海地区环境污染防治战略研究	田金平,陈吕军,杜鹏飞,钱易	(336)
微生物全细胞传感器在重金属生物可利用度监测中的研究进展	侯启会,马安周,庄绪亮,庄国强	(347)
2012 城市生态学术研讨会会议论文		
北京市城乡环境梯度下街尘中重金属污染特征	何小艳,顾培,李叙勇,赵洪涛	(357)
北京市道路灰尘中污染物含量沿城乡梯度、道路密度梯度的变化特征	唐荣莉,马克明,张育新,毛齐正	(364)
北京城市典型下垫面降雨径流污染初始冲刷效应分析	任玉芬,王效科,欧阳志云,侯培强	(373)
洋河流域张家口段河流水质演化及驱动因子分析	虎博,王铁宇,吕永龙,杜立宇,罗维	(379)
低碳交通电动汽车减排潜力及其影响因素分析	施晓清,李笑诺,杨建新	(385)
北京市社区生活垃圾分类收集实效调查及其长效管理机制研究	邓俊,徐琬莹,周传斌	(395)
人工湿地在应用中存在的问题及解决措施	黄锦楼,陈琴,许连煌	(401)
《环境科学》征订启事(26)	《环境科学》征稿简则(68)	信息(76,144,301,400)
		专辑征稿通知(394)

兴隆大气气溶胶中水溶性无机离子分析

李杏茹¹, 宋爱利¹, 王英锋¹, 孙颖¹, 刘子锐², 王跃思²

(1. 首都师范大学化学系, 北京 100048; 2. 中国科学院大气物理研究所大气边界层物理和大气化学国家重点实验室, 北京 100029)

摘要: 2009 年 9 月 ~ 2010 年 8 月在兴隆大气背景站, 利用 Andersen 分级采样器进行大气气溶胶样品的采集, 并利用离子色谱分析了其中的水溶性无机离子的成分含量. 结果表明, TSP、PM_{2.1} 和 PM_{1.1} 中总水溶性无机盐的年平均浓度分别为 (89.66 ± 47.66)、(54.44 ± 34.08) 和 (44.39 ± 29.95) μg·m⁻³, 其中 SO₄²⁻、NO₃⁻、Ca²⁺ 和 NH₄⁺ 为兴隆大气气溶胶中最主要的水溶性无机离子. PM_{2.1} 中总水溶性无机离子的年平均浓度占 TSP 的 61%. PM_{1.1} 总水溶性无机离子的年平均浓度占 TSP 的 50%, 占 PM_{2.1} 的 82%. PM_{1.1}、PM_{2.1} 和 TSP 中水溶性无机离子总浓度季节性变化趋势一致, 夏季 > 秋季 > 春季 > 冬季. NH₄⁺ 与 SO₄²⁻ 的摩尔比 > 2, 表明 NH₄⁺ 未被 SO₄²⁻ 完全中和. 在细粒子中 NH₄⁺ 和 SO₄²⁻、NO₃⁻ 均有较好的相关性, 相关系数分别为 0.96 和 0.87, 表明 NH₄⁺ 可能以 (NH₄)₂SO₄ 和 NH₄NO₃ 的形式存在.

关键词: TSP; PM_{2.1}; PM_{1.1}; 大气气溶胶; 水溶性无机离子

中图分类号: X131.1; X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)01-0015-06

Analysis on Water-soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol of Xinglong

LI Xing-ru¹, SONG Ai-li¹, WANG Ying-feng¹, SUN Ying¹, LIU Zi-rui², WANG Yue-si²

(1. Department of Chemistry, Capital Normal University, Beijing 100048, China; 2. State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: Size-segregated aerosol samples were collected using Andersen cascade sampler from Sep. 2009 to Aug. 2010 in Xinglong, a regional atmospheric background station. The water-soluble inorganic ions were analyzed by IC. The result showed that the annual concentrations of the total water-soluble inorganic ions were (89.66 ± 47.66), (54.44 ± 34.08) and (44.39 ± 29.95) μg·m⁻³ in TSP, PM_{2.1} and PM_{1.1}, respectively. SO₄²⁻, NO₃⁻, Ca²⁺ and NH₄⁺ were the dominant contributors of water-soluble inorganic ions. The total water-soluble inorganic ions in PM_{2.1} accounted for 61% of TSP. The total water-soluble inorganic ions in PM_{1.1} accounted for 50% and 82% in TSP and PM_{2.1}, respectively. The seasonal variations of the total water-soluble inorganic ion concentration in TSP, PM_{2.1} and PM_{1.1} were the same, following the order of summer > autumn > springs > winter. The mean molar ratio of NH₄⁺ to SO₄²⁻ was larger than 2, indicating that NH₄⁺ was not completely neutralized by SO₄²⁻. NH₄⁺-SO₄²⁻ and NH₄⁺-NO₃⁻ concentrations were strongly correlated (R^2 0.96 and 0.87), indicating that NH₄⁺ was mainly present as (NH₄)₂SO₄ and NH₄NO₃.

Key words: TSP; PM_{2.1}; PM_{1.1}; aerosol; water-soluble inorganic ion

大气气溶胶研究已经成为气候及环境研究的重要内容^[1], 人为源和自然源产生的大气悬浮颗粒物 (PM) 对大气化学, 空气质量和气候改变都有着显著的影响^[2]. 尤其是大气中的细粒子 (粒子空气动力学直径 < 2.5 μm), 在全球气候的改变^[3,4], 人类健康问题^[5~7] 以及能见度^[8] 等方面都扮演着非常重要的角色. 研究其化学组成对深入了解颗粒物在全球气候变化中所起的作用以及对人类和生态环境健康的影响具有重要意义^[9]. 水溶性无机离子是气溶胶的重要组成部分^[10~12], 主要成分如硫酸盐、硝酸盐和铵盐等亲水性较强的离子主要富集在粒径 < 1.0 μm 的颗粒物中^[10,13], 其强烈的吸湿性, 直接影响云、雾的形成和降水酸度, 进而导致地-气系统能量平衡的变化^[14].

国内外学者对不同区域内的大气气溶胶中水溶性无机离子浓度变化特征、离子粒径分布特点等进行了研究. 高晓梅等^[15] 对泰山春夏两季大气颗粒物及其水溶性无机离子的粒径分布特征做了研究. Kumar 等^[16] 研究了离子的粒径对 PM₁₀ 酸度及离子构成的影响. Galindo 等^[17] 对建筑工地附近细粒子中水溶性无机离子的浓度变化特征进行研究. 近年来对水溶性无机离子的研究主要集中在对大中型城市的研究^[11,18,19], 对背景站气溶胶的研究较少^[18],

收稿日期: 2012-03-28; 修订日期: 2012-05-14

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2-YW-Q02-03); 北京市科技计划项目 (D09040903670902)

作者简介: 李杏茹 (1979 ~), 女, 博士, 主要研究方向为环境分析, E-mail: songaili86@gmail.com

* 通讯联系人, E-mail: wys@dq.cern.ac.cn

本研究就兴隆背景站的气溶胶中水溶性无机离子 TSP、PM_{2.1} 和 PM_{1.1} 的离子组成和浓度变化特征进行研究. 兴隆县位于河北省东北部, 北京、天津、唐山、秦皇岛、承德五市的中间位置, 是京、津、唐、承四市的近邻. 所以, 研究兴隆地区大气气溶胶的组成及浓度变化特征, 对进一步了解京津塘这一区域的气溶胶变化和对周边地区的传输作用有着积极的意义.

1 材料与方法

采样地点设在中国科学院国家天文台兴隆观测基地内, 北纬 40.4°, 东经 117.6°, 海拔 960 m. 年平均气温在 6.5 ~ 10.3°C 之间, 气温垂直变化明显, 冬季盛吹西北季风, 寒冷, 1 月平均气温为 -7.5°C, 夏季吹东南季风, 天气炎热多雨, 7 月平均气温在 22°C 以上, 无霜期约为 135 d, 降水丰沛, 雨热同期.

2009 年 9 月 ~ 2011 年 8 月, 采用 Andersen 撞击式分级采样器 (Andersen, Series20-800) 采集大气气溶胶粒子, 流速为 28.3 L·min⁻¹. 粒子的 50% 切割等效空气粒径 (EAD) 为 9.0、5.8、4.7、3.3、2.1、1.1、0.65 和 0.45 μm. 通常把空气动力学直径 2.5 μm 作为粗、细粒子的分界. 由于 Andersen 采样器没有 2.5 μm 的切割粒径, 本研究把空气动力学直径 2.1 μm 作为粗、细粒子的分界. 样品收集于纤维素聚酯膜. 采样持续时间 48 h, 频率每两周一次.

表 1 兴隆 PM_{1.1}、PM_{2.1} 和 TSP 中水溶性无机离子浓度/μg·m⁻³

Table 1 Concentration of water-soluble inorganic ions in PM_{1.1}, PM_{2.1} and TSP in Xinglong/μg·m⁻³

项目	数值	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
PM _{1.1}	min	0.49	0.02	0.01	0.11	0.39	0.73	0.00	1.61	1.88
	max	1.75	36.01	1.41	2.18	13.06	2.77	5.13	30.51	46.08
	ave	0.97	9.64	0.27	1.12	5.55	1.56	0.82	10.49	13.96
	std	0.31	10.86	0.33	0.63	3.37	0.53	1.37	8.79	12.35
PM _{2.1}	min	0.74	0.02	0.01	0.22	0.58	0.89	0.00	2.02	2.20
	max	2.01	38.36	1.44	2.51	17.58	3.20	5.53	32.70	50.63
	ave	1.27	11.18	0.32	1.43	7.36	1.93	1.13	13.02	16.80
	std	0.36	11.92	0.35	0.73	4.31	0.61	1.74	10.48	13.86
TSP	min	1.78	0.14	0.03	0.66	2.53	1.53	0.00	3.39	3.89
	max	4.60	54.28	1.57	6.33	31.39	6.77	14.85	54.98	71.29
	ave	2.59	13.74	0.41	3.13	16.64	3.96	3.18	21.69	24.30
	std	0.72	14.74	0.40	1.52	8.05	1.32	4.69	15.98	17.55

PM_{2.1} 中总水溶性无机离子的平均浓度为 (54.44 ± 34.08) μg·m⁻³, 占 TSP 总水溶性无机离子的 61%. 变化范围为 13.58 ~ 125.18 μg·m⁻³. 与 TSP 相同, SO₄²⁻、NO₃⁻、NH₄⁺、Ca²⁺ 为 PM_{2.1} 中水溶性无机离子的主要成分, 这 4 种离子的平均浓度分别为 (16.80 ± 13.86)、(13.02 ± 10.48)、(11.18 ±

采样后将纤维素聚酯膜装入密封袋中寄回实验室. 置于冰箱 (-18°C) 避光保存至分析. 有效样品量, 春、夏、秋、冬各 5 套.

准确切取 1/2 面积的纤维素聚酯膜放入塑料瓶中, 加入 50 mL 去离子水 (18.2 MΩ·cm) 经超声振荡提取 30 min, 静置, 后用 0.45 μm 滤膜过滤, 利用 IC (Dionex, ICS-90) 对提取液中阳离子 Na⁺、NH₄⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺, 阴离子 F⁻、Cl⁻、NO₂⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻ 共 10 种离子进行分析检测. 各离子的最低检出限均低于 0.03 mg·L⁻¹. 经检测上述 10 种离子中 F⁻ 浓度 < 0.1 μg·m⁻³, 所以在本研究中不作讨论.

2 结果与讨论

2.1 浓度水平

表 1 为采样期间兴隆大气气溶胶水溶性无机离子的浓度. 可以看出兴隆大气 TSP 中总水溶性无机盐的平均浓度为 (89.66 ± 47.66) μg·m⁻³, 变化范围为 217.38 ~ 24.28 μg·m⁻³. 其中 SO₄²⁻、NO₃⁻、Ca²⁺、NH₄⁺ 为最主要的水溶性无机离子, 平均浓度为 (24.30 ± 17.55)、(21.69 ± 16.00)、(16.64 ± 2.53) 和 (13.74 ± 14.74) μg·m⁻³. 变化范围分别为 3.89 ~ 71.29、3.39 ~ 54.98、2.53 ~ 31.39 和 0.14 ~ 53.28 μg·m⁻³. 占总离子质量分数分别为 27%、24%、19% 和 15%, 共计 85%.

11.92)、(7.36 ± 4.31) μg·m⁻³. 变化范围 2.20 ~ 56.63、2.02 ~ 32.70、0.02 ~ 38.36 和 0.58 ~ 17.58 μg·m⁻³. 占 PM_{2.1} 总水溶性无机离子质量分数分别为 31%、24%、21% 和 14%. 共计 89%.

PM_{1.1} 中总水溶性无机离子的平均浓度为 (44.39 ± 29.95) μg·m⁻³, 占 TSP 总水溶性无机离

子的 50%, 占 $PM_{2.1}$ 总水溶性无机离子的 82%。变化范围为 $11.25 \sim 111.80 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。与 TSP 和 $PM_{2.1}$ 相同, SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 为 $PM_{1.1}$ 中水溶性无机离子的主要成分, 这 4 种离子的平均浓度分别为 (13.96 ± 12.35) 、 (10.49 ± 8.79) 、 (9.64 ± 10.86) 和 $(5.55 \pm 3.37) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。变化范围 $1.88 \sim 46.08$ 、 $1.61 \sim 30.51$ 、 $0.02 \sim 36.01$ 、 $0.39 \sim 13.06 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。占 $PM_{1.1}$ 总水溶性无机离子质量分数分别为 32%、24%、20% 和 13%。共计 89%。

由上述 TSP、 $PM_{2.1}$ 和 $PM_{1.1}$ 水溶性无机离子浓度可知: 三者的主要离子均为 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Ca^{2+} 、 NH_4^+ , 但成分比例略有不同, TSP 中 Ca^{2+} 质量分数高于 NH_4^+ 为 18.6%, 而在 $PM_{2.1}$ 和 $PM_{1.1}$ 中 Ca^{2+} 的质量分数分别为 13.5% 和 12.5% 均低于 NH_4^+ 的质量分数。 Ca^{2+} 在大气中主要都是由建筑尘、土壤尘等污染源的一次排放生成的, 自身粒径较大, 主要集中在粗颗粒物中, 与 NH_4^+ 主要存在的粒径范围不

同, 与以往的研究相符^[14]。

由表 2 可见, NH_4^+ 主要分布在细粒子中, $PM_{2.1}/\text{TSP}$ 值为 0.81, $PM_{1.1}/PM_{2.1}$ 值为 0.84 表明 NH_4^+ 集中分布在 $PM_{1.1}$ 中; 与 NH_4^+ 粒径分布相似, SO_4^{2-} 和 NO_3^- 大部分分布在细粒子中, 且集中分布在 $<1.1 \mu\text{m}$ 粒径段。 Cl^- 和 Na^+ 在粗细粒子的分布几乎相同, 在 $PM_{2.1}/\text{TSP}$ 中都为 0.49。从 $PM_{2.1}/\text{TSP}$ 值来看 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 在粗细粒子中都有分布比值, 分别为 0.44 和 0.46, 但从 $PM_{1.1}/\text{TSP}$ 比值看 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 主要分布在 $>1.1 \mu\text{m}$ 的粒径段。这可能是气态的硝酸、氯化氢与粗粒子的表面发生反应, 形成硝酸钙、硝酸镁、氯化钙、氯化镁^[20], 使其存在的粒径段在 $>1.1 \mu\text{m}$ 部分。由 $PM_{1.1}/PM_{2.1}$, 离子分布于细粒子的部分 73% ~ 86% 分布在 $PM_{1.1}$ 粒径段中。所以对 $PM_{1.1}$ 的离子浓度及组成研究, 一定程度上可以反映 $PM_{2.1}$ 细粒子中离子浓度水平及分布特点。

表 2 TSP、 $PM_{1.1}$ 和 $PM_{2.1}$ 中总水溶性无机离子平均浓度的比值

Table 2 Ratio of average concentration of water-soluble inorganic ions in $PM_{1.1}$, $PM_{2.1}$ and TSP

项目	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	NO_2^-	NO_3^-	SO_4^{2-}
$PM_{1.1}/\text{TSP}$	0.38	0.70	0.66	0.36	0.33	0.39	0.26	0.48	0.57
$PM_{2.1}/\text{TSP}$	0.49	0.81	0.77	0.46	0.44	0.49	0.35	0.60	0.69
$PM_{1.1}/PM_{2.1}$	0.77	0.86	0.85	0.78	0.75	0.81	0.73	0.81	0.83

2.2 季节变化

由表 3 可见, 兴隆大气 $PM_{1.1}$ 、 $PM_{2.1}$ 和 TSP 中水溶性无机离子总浓度季节性变化趋势一致, 夏季浓度最高, 其次为秋季、春季, 冬季浓度最低。

其中, NH_4^+ 夏季出现较高值, TSP 浓度为 $32.99 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, $PM_{1.1}$ 浓度为 $24.82 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。其次为秋季, 而最低值出现在冬季, TSP 浓度为 $4.95 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, $PM_{1.1}$ 浓度为 $2.91 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。铵盐主要由环境空气中 NH_3 转化而来, 其转化过程受温度、相对湿度、大气辐射状况等诸多因素影响。夏秋季温度较高、 NH_3 排放源增强, 同时空气湿度增大等因素存在, 使得 NH_3 更易转化为铵^[21]。这夏季出现较高浓度的 NH_4^+ 可能是与夏季农田施用化肥量的增加及生物活动较频繁等因素有关^[22], 而在冬季出现最低值也说明 NH_4^+ 浓度与农田化肥量的使用及生物活动有关。 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 同样都在夏季出现高值, 主要是由于夏季光照时间长, 辐射强烈, 光化学反应引起的气粒转化明显, 产生细粒径的二次粒子较多, 易在大气中悬浮积累。上述 3 种离子均在夏季出现最高

值, 这与夏季较高的气温有利于颗粒物中二次粒子的挥发有关。从季节的浓度变化上来看, NH_4^+ 和 NO_3^- 变化幅度与 SO_4^{2-} 相比较小, 可能是由于铵盐、硝酸盐比硫酸盐较易分解, 从而不易在环境中形成高值^[23]。

K^+ 季节性变化为夏季 $>$ 秋季 $>$ 春季 $>$ 冬季, TSP 平均浓度分别为 0.97、0.42、0.29 和 0.09 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。其主要来源于生物质燃烧、土壤、燃煤与燃油及海洋源等, K^+ 的浓度受近距离生物质燃烧源的影响很大^[24], 通常被当作生物质燃烧的示踪离子。夏、秋季节正值北方地区农田收割季节, 麦秸等生物质的燃烧排放是导致兴隆地区夏、秋季 K^+ 出现高值的主要原因。

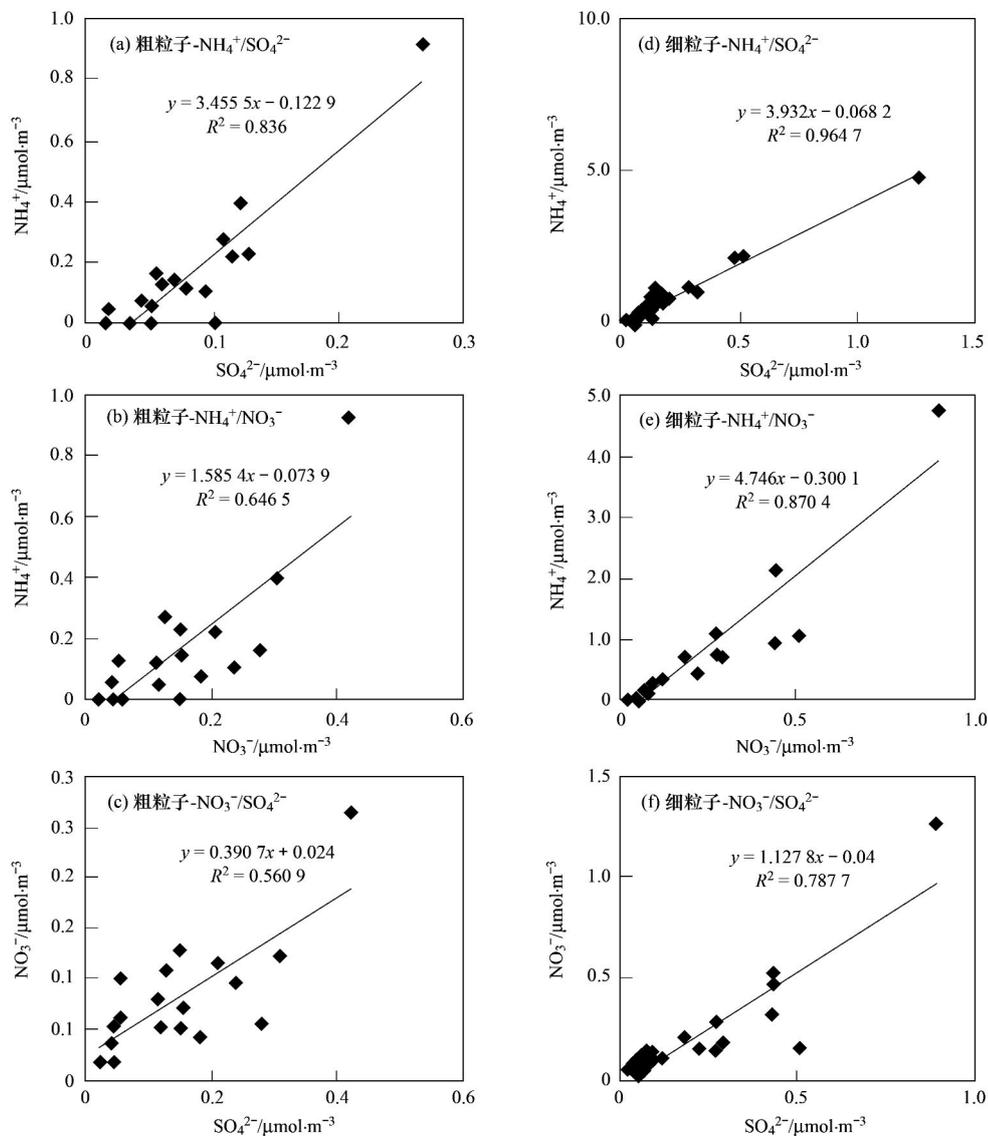
TSP 中 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 季节性浓度变化均为秋季 $>$ 冬季 $>$ 春季 $>$ 夏季。作为土壤和沙尘颗粒物中的典型离子, 具有相同的季节相变化趋势, 说明 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 具有相同的源, 兴隆夏季降水量较大, 这有利于大气中颗粒物的湿清除, 所以夏季 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的浓度明显低于其他季节。

表 3 $PM_{1.1}$ 、 $PM_{2.1}$ 和 TSP 中水溶性无机离子季节平均浓度/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ Table 3 Seasonal average concentration of water-soluble inorganic ions in $PM_{1.1}$, $PM_{2.1}$ and TSP/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

离子	秋季			冬季			春季			夏季		
	$PM_{1.1}$	$PM_{2.1}$	TSP									
Na^+	1.04	1.42	2.85	0.92	1.17	2.65	1.02	1.33	2.48	0.92	1.17	2.37
NH_4^+	7.54	9.08	11.26	2.91	4.13	4.95	5.90	7.06	9.10	24.82	27.26	32.99
K^+	0.26	0.32	0.42	0.07	0.09	0.09	0.15	0.19	0.29	0.68	0.76	0.97
Mg^{2+}	1.34	1.77	4.01	1.34	1.67	3.81	1.05	1.34	2.59	0.72	0.93	2.06
Ca^{2+}	6.96	9.36	23.06	5.63	7.24	17.12	6.47	8.69	16.93	2.90	3.83	9.26
Cl^-	1.26	1.68	3.29	1.35	1.59	3.36	1.92	2.38	4.70	1.67	2.05	4.45
NO_2^-	0.00	0.01	0.01	0.26	0.31	0.69	1.07	1.49	3.79	2.04	2.81	8.70
NO_3^-	13.04	14.42	22.21	5.36	7.94	12.67	7.87	10.29	18.12	17.60	21.38	36.91
SO_4^{2-}	6.55	8.63	15.13	8.75	11.56	17.70	10.71	13.18	20.28	31.96	36.05	46.76
合计	37.99	46.70	82.24	26.60	35.68	63.04	36.16	45.96	78.28	83.31	96.22	144.48

2.3 粗细粒子中 NH_4^+ 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 的相关性分析
由图 1(a)可以看出,在粗粒子中, NH_4^+ 与 SO_4^{2-} 有较强的相关性, R^2 为 0.836,线性回归方程的斜率

为 3.455 5. 在细粒子中[图 1(d)] NH_4^+ 与 SO_4^{2-} 也具有很强的相关性,相关性系数 R^2 为 0.964 7. 回归方程的斜率为 3.932. 由相关系数比较可以说明,

图 1 粗细粒子中 NH_4^+ 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 相关性Fig. 1 Correlation of NH_4^+ , SO_4^{2-} and NO_3^- in coarse and fine particles

NH_4^+ 与 SO_4^{2-} 有较好的结合, 相关性很强. 在细粒子中二者的相关性强于粗粒子中的相关性, 说明 NH_4^+ 与 SO_4^{2-} 在细粒子中有更稳固的结合方式. 从斜率上也就是 NH_4^+ 与 SO_4^{2-} 的摩尔比上看, 无论在粗粒子中还是在细粒子中, NH_4^+ 与 SO_4^{2-} 的摩尔比均大于 2, 表明 NH_4^+ 未被 SO_4^{2-} 完全中和. 可能以 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 和 NH_4NO_3 的形式存在. 由图 1(b) 和 1(e), 在粗粒子和细粒子中, NH_4^+ 和 NO_3^- 的相关性系数 R^2 分别为 0.646 5 和 0.870 4. 斜率均大于 1. 说明 NH_4^+ 和 NO_3^- 也具有较好的相关性, 与 NH_4^+ 和 SO_4^{2-} 的相关性类似, NH_4^+ 和 NO_3^- 在细粒子中有更好的结合. 虽然 NH_4^+ 和 NO_3^- 具有较好的相关性, 但与 NH_4^+ 和 SO_4^{2-} 的相关性相比较, 可以明显看出 NH_4^+ 更倾向于与 SO_4^{2-} 的结合. 上述 3 种主要离子在细粒子中有较好的相关性恰好与 2.1 节中所提到的 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 均主要存在于细粒子中相吻合. 由图 1(c) 和 1(f) 可见, SO_4^{2-} 和 NO_3^- 在细粒子中的相关性系数 0.787 7 明显高于粗粒子中的相关性系数 0.560 9. 表明 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 同样在细粒子中有较好的相关性.

2.4 粒径分布特征

分析结果表明, 兴隆大气背景站颗粒物中水溶

性无机离子的峰值浓度粒径分布特征可分为两类. 第一类为峰值出现在 $< 1.1 \mu\text{m}$ 粒径段的细粒子模态, 如图 2(a)、2(b), 包括 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 和 K^+ . 第二类为峰值出现在 $0.43 \sim 0.65 \mu\text{m}$ 和 $4.7 \sim 5.8 \mu\text{m}$ 两个粒径段的双模态离子, 但峰值在 $4.7 \sim 5.8 \mu\text{m}$ 粒径段浓度明显高于 $0.43 \sim 0.65 \mu\text{m}$ 粒径段的浓度, 包括 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 和 Cl^- , 如图 2(c)、2(d). 细粒子模态的 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 和 K^+ , 分别有 81%、60%、69% 和 77% 分布在细粒子中, 表明含氮、含硫及钾离子污染为兴隆地区细粒子的主要污染源. 由于 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 主要是由其气态前体物 (SO_2 、 NO_x 和 NH_3) 经大气化学反应而形成的二次离子, 属于二次污染物. 表明兴隆大气细颗粒物中存在有严重的二次污染. NH_4^+ 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 浓度峰值均出现在 $0.65 \sim 1.1 \mu\text{m}$ 粒径段, 与 2.3 节中在细粒子中 NH_4^+ 与 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 均有很强的相关性相符, 且与以往研究相符. 在 $4.7 \sim 5.8 \mu\text{m}$ 也有峰出现但浓度较低不明显. 54% 的 Mg^{2+} 和 56% 的 Ca^{2+} 分布在粗粒子中, Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 的峰型具有较好的一致性, 又均为土壤、沙尘颗粒物中的典型离子, 说明 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 具有同源性. Na^+ 和 Cl^- 在 $4.7 \sim 5.8 \mu\text{m}$ 粒径段出现明显的峰

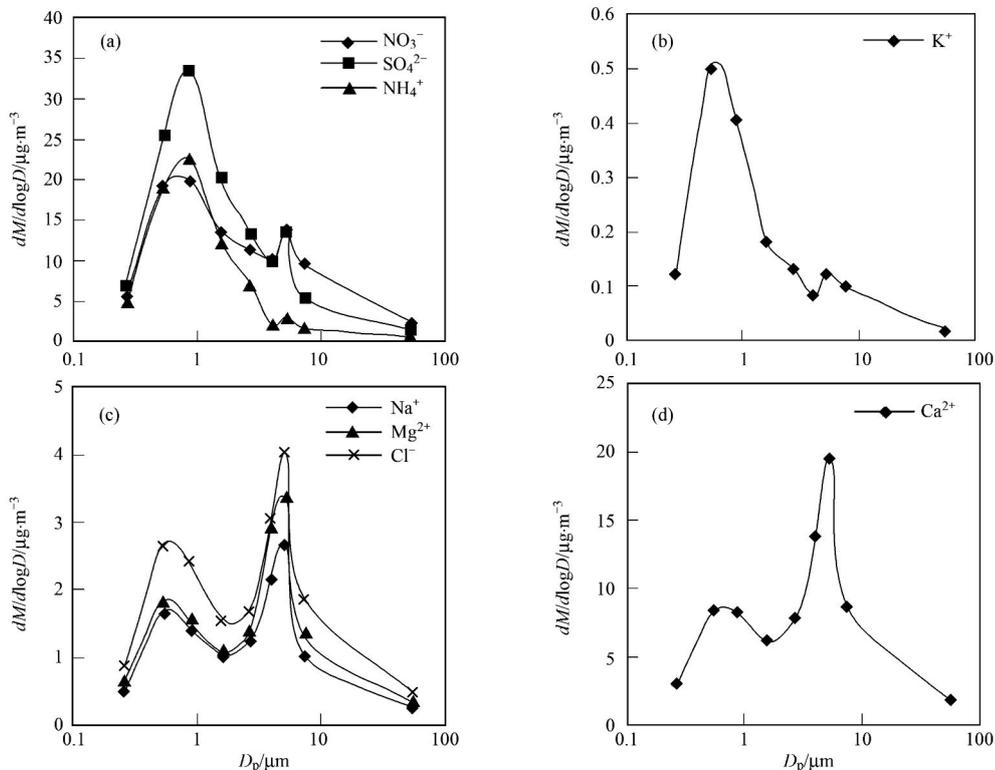


图 2 水溶性无机离子的粒径分布

Fig. 2 Mass size distributions of water-soluble inorganic ions

值,研究证明 Na^+ 和 Cl^- 均有 51% 分布在粗粒子中,细粒子中的 Na^+ 和 Cl^- 主要来自燃煤源,粗粒子中的钠离子主要来自土壤风沙尘^[25]. 氯离子和钠离子有很相似的粒径分布如图 2(c),可以看出 Na^+ 和 Cl^- 也存在较好的同源性. K^+ 在 $0.43 \sim 0.65 \mu\text{m}$ 出现峰值,这与 K^+ 来自生物质燃烧相符.

3 结论

(1) 兴隆大气 TSP 中总水溶性无机盐的平均浓度为 $(89.66 \pm 47.66) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 变化范围为 $217.38 \sim 24.28 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. 其中 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Ca^{2+} 、 NH_4^+ 为最主要的水溶性无机离子.

(2) 兴隆大气 $\text{PM}_{1.1}$ 、 $\text{PM}_{2.1}$ 和 TSP 中水溶性无机离子总浓度季节性变化趋势一致,夏季浓度最高,其次为秋季、春季,冬季浓度最低.

(3) NH_4^+ 与 SO_4^{2-} 在细粒子中都具有很强的相关性, NH_4^+ 和 NO_3^- 也具有相同的特点. NH_4^+ 与 SO_4^{2-} 的摩尔比 > 2 , 表明 NH_4^+ 未被 SO_4^{2-} 完全中和,可能以 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 和 NH_4NO_3 的形式存在.

(4) NH_4^+ 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 和 K^+ 为峰值出现在 $< 1.1 \mu\text{m}$ 粒径段的细粒子模态, Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 和 Cl^- 为峰值出现在 $0.43 \sim 0.65 \mu\text{m}$ 和 $4.7 \sim 5.8 \mu\text{m}$ 两个粒径段的双模态离子.

参考文献:

- [1] 赵亚南, 王跃思, 温天雪, 等. 长白山 $\text{PM}_{2.5}$ 中水溶性无机离子观测研究[J]. 环境化学, 2011, **30**(4): 812-815.
- [2] Gu J X, Bai Z P, Li W F, *et al.* Chemical composition of $\text{PM}_{2.5}$ during winter in Tianjin, China[J]. Particulology, 2011, **9**(3): 215-221.
- [3] Charlson R J, Schwartz S E, Hales J M, *et al.* Climate forcing by anthropogenic aerosols [J]. Science, 1992, **255** (5043): 423-430.
- [4] Wexler A S, Ge Z Z. Hydrophobic particles can activate at lower relative humidity than slightly hygroscopic ones: a Köhler theory incorporating surface fixed charge [J]. Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 1998, **103**(D6): 6083-6088.
- [5] Dockery D W, Stone P H. Cardiovascular risks from fine particulate air pollution [J]. The New England Journal of Medicine, 2007, **356**(5): 511-513.
- [6] Norris G, YoungPong S N, Koenig J Q, *et al.* An association between fine particles and asthma emergency department visits for children in Seattle [J]. Environmental Health Perspectives, 1999, **107**(6): 489-493.
- [7] Ostro B, Broadwin R, Green S, *et al.* Fine particulate air pollution and mortality in nine California counties: results from CALFINE[J]. Environmental Health Perspectives, 2006, **114** (1): 29-33.
- [8] Chan Y C, Simpson R W, McTainsh G H, *et al.*

Characterisation of chemical species in $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} aerosols in Brisbane, Australia [J]. Atmospheric Environment, 1997, **31** (22): 3773-3785.

- [9] 孙颖, 潘月鹏, 李杏茹, 等. 京津冀典型城市大气颗粒物化学成分同步观测研究[J]. 环境科学, 2011, **32**(9): 2732-2740.
- [10] 徐宏辉, 王跃思, 温天雪, 等. 北京大气气溶胶中水溶性离子的粒径分布和垂直分布[J]. 环境科学, 2007, **28**(1): 14-19.
- [11] Yao X H, Chan C K, Fang M, *et al.* The water-soluble ionic composition of $\text{PM}_{2.5}$ in Shanghai and Beijing, China [J]. Atmospheric Environment, 2002, **36**(26): 4223-4234.
- [12] Yin J, Allen A G, Harrison R M, *et al.* Major component composition of urban PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ in Ireland [J]. Atmospheric Research, 2005, **78**(3-4): 149-165.
- [13] 陶俊, 张仁健, 董林, 等. 夏季广州城区细颗粒物 $\text{PM}_{2.5}$ 和 $\text{PM}_{1.0}$ 中水溶性无机离子特征[J]. 环境科学, 2010, **31**(7): 1417-1424.
- [14] 赵亚南, 王跃思, 温天雪, 等. 贡嘎山大气气溶胶中水溶性无机离子的观测与分析研究[J]. 环境科学, 2009, **30**(1): 9-13.
- [15] 高晓梅, 王韬, 周杨, 等. 泰山春、夏两季大气颗粒物及其水溶性无机离子的粒径分布特征[J]. 环境化学, 2011, **30** (3): 686-692.
- [16] Kumar A, Mishra M K, Divkar J K, *et al.* Impact of particle size on distribution of major ions in acid-and water-soluble components of PM_{10} atmospheric aerosols in the coastal region of Mumbai[J]. Atmospheric Research, 2010, **98**(2-4): 406-415.
- [17] Galindo N, Yubero E, Nicolás J F, *et al.* Water-soluble ions measured in fine particulate matter next to cement works [J]. Atmospheric Environment, 2011, **45**(12): 2043-2049.
- [18] Li J J, Wang G H, Zhou B H, *et al.* Chemical composition and size distribution of wintertime aerosols in the atmosphere of Mt. Hua in central China[J]. Atmospheric Environment, 2011, **45** (6): 1251-1258.
- [19] Duan F K, He K B, Ma Y L, *et al.* Characteristics of carbonaceous aerosols in Beijing, China [J]. Chemosphere, 2005, **60**(3): 355-364.
- [20] 徐宏辉, 刘洁, 王跃思, 等. 杭州地区大气气溶胶中水溶性离子特征的城郊对比分析[J]. 环境化学, 2009, **28**(4): 598-599.
- [21] 邓利群, 李红, 柴发合, 等. 北京东北部城区大气细粒子与相关气体污染特征研究[J]. 中国环境科学, 2011, **31**(7): 1064-1070.
- [22] 何玉辉, 杨桂朋, 张洪海. 冬季中国东海大气气溶胶中水溶性离子的组成与来源分析[J]. 环境科学, 2011, **32**(8): 2197-2203.
- [23] 郭照冰, 陈天蕾, 陈天, 等. 香河地区大气气溶胶中水溶性离子观测及分析[J]. 环境化学, 2010, **29**(4): 764-765.
- [24] 徐宏辉, 王跃思, 杨勇杰, 等. 泰山顶夏季大气气溶胶中水溶性离子的浓度及其粒径分布研究[J]. 环境科学, 2008, **29**(2): 305-309.
- [25] 韩月梅, 沈振兴, 曹军骥, 等. 西安市大气颗粒物中水溶性无机离子的季节变化特征[J]. 环境化学, 2009, **28**(2): 261-266.

CONTENTS

Characteristics of Total Gaseous Mercury Concentrations at a Rural Site of Yangtze Delta, China	DOU Hong-ying, WANG Shu-xiao, WANG Long, <i>et al.</i> (1)
Compositions of Organic Acids in PM ₁₀ Emission Sources in Xiamen Urban Atmosphere	YANG Bing-yu, HUANG Xing-xing, ZHENG An, <i>et al.</i> (8)
Analysis on Water-soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol of Xinglong	LI Xing-ru, SONG Ai-li, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> (15)
Effects of Gaseous Compositions the on Simultaneous Removal of NO _x and SO ₂ from Simulated Flue Gas by Ammonia Absorption	WANG Hong, ZHU Tian-le, WANG Mei-yan (21)
Comparing the Ammonia Volatilization Characteristic of Two Typical Paddy Soil with Total Wheat Straw Returning in Taihu Lake Region	WANG Jun, WANG De-jian, ZHANG Gang, <i>et al.</i> (27)
Real-Time Analysis of Polyvinyl Chloride Thermal Decomposition/Combustion Products with Single Photon Ionization/Photoelectron Ionization Online Mass Spectrometer	CHEN Wen-dong, HOU Ke-yong, CHEN Ping, <i>et al.</i> (34)
Surface Characteristics of Alkali Modified Activated Carbon and the Adsorption Capacity of Methane	ZHANG Meng-zhu, LI Lin, LIU Jun-xin, <i>et al.</i> (39)
Distribution of Dimethylsulfoxide(DMSO) in the Surface Water of the Yellow Sea and the Bohai Sea	WANG Min, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (45)
Resolving Characteristic of CDOM by Excitation-Emission Matrix Spectroscopy Combined with Parallel Factor Analysis in the Seawater of Outer Yangtze Estuary in Autumn in 2010	YAN Li-hong, CHEN Xue-jun, SU Rong-guo, <i>et al.</i> (51)
Estimation and Forecast of Chlorophyll a Concentration in Taihu Lake Based on Ensemble Square Root Filters	LI Yuan, LI Yun-mei, WANG Qiao, <i>et al.</i> (61)
Research of Hyperspectral Reconstruction Based on HJ1A-CCD Data	GUO Yu-long, LI Yun-mei, ZHU Li, <i>et al.</i> (69)
Research on the Sensitivity of Geochemical of Underground River in Chongqing Xueyu Cave	XU Shang-quan, YANG Ping-heng, YIN Jian-jun, <i>et al.</i> (77)
Bivariate Statistical Model for Calculating Phosphorus Input Loads to the River from Point and Nonpoint Sources	CHEN Ding-jiang, SUN Si-yang, JIA Ying-na, <i>et al.</i> (84)
Temporal and Spatial Variations of Total Nitrogen and Total Phosphorus in the Typical Reaches of Qinhuai River	LI Yue-fei, XIA Yong-qiu, LI Xiao-bo, <i>et al.</i> (91)
Derivation and Application of Sediment Quality Criteria of Cd and Hg for the Xiangjiang River	JIANG Bo-feng, SANG Lei-xin, SUN Wei-ling, <i>et al.</i> (98)
Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Soil of Relocation Areas from the Danjiangkou Reservoir	ZHANG Lei, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (108)
Concentrations of Soil Heavy Metals and Their Spatial Distribution in the Surrounding Area of Fenhe Reservoir	LI Jin-chang, ZHANG Hong, SHI Wei (116)
Distribution and Health Risk Assessment of Heavy Metals of Groundwaters in the Irrigation District of the Lower Reaches of Yellow River	ZHANG Yan, LI Fa-dong, OUYANG Zhu, <i>et al.</i> (121)
Concentrations and Distribution of Organochlorine Pesticides in the Surface Sediments of Jiaozhou Bay, Taotzi Bay and Sishili Bay	LIU Yi-kai, ZHONG Guang-cai, TANG Jian-hui, <i>et al.</i> (129)
Choice of Macroinvertebrate Metrics for Constructing a Benthic-Index of Biotic Integrity Based on the Disturbance Gradients in the Qinjiang River Basin	LU Dong-qi, ZHANG Yong, CAI De-suo, <i>et al.</i> (137)
Isolation and Identification of <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 and Its Allelopathy on <i>Skeletonema costatum</i>	WANG Hong-bin, CHEN Wen-hui, LI Xin-shu, <i>et al.</i> (145)
Effects of the Rice Straw on <i>Microcystis aeruginosa</i> Analyzed by Different Physiological Parameters	SU Wen, KONG Fan-xiang, YU Yang, <i>et al.</i> (150)
Effects of Allochemicals Ethyl Cinnamate on the Growth and Physiological Characteristics of <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	GAO Li-li, GUO Pei-yong, SU Guang-ming, <i>et al.</i> (156)
Hydraulic Simulation and Safety Assessment of Secondary Water Supply System with Anti-Negative Pressure Facility	WANG Huan-huan, LIU Shu-ming, JIANG Shuai, <i>et al.</i> (163)
Effect of Relative Molecular Mass Distribution and Hydrophilicity/Hydrophobicity of NOM on Membrane Fouling in MF-combined Process	HU Meng-liu, LIN Jie, XU Guang-hong, <i>et al.</i> (169)
Effect of Permeabilization on Sulfate Reduction Activity of <i>Desulfovibrio vulgaris</i> Hildenborough Cells in the Presence of Different Electron Donors	XU Hui-wei, ZHANG Xu, LI Li-ming, <i>et al.</i> (177)
Dechlorination of HCB by Bimetals Based on Zero Valent Iron	ZENG Xian-wei, LIU Jian-guo, NIE Xiao-qin (182)
Study on Kinetics of Photoelectrocatalytic Degradation of Supported TiO ₂ on Malachite Green	ZHANG Xiao-na, ZHOU Shao-qi, ZHOU Xiao (188)
Measurement and Analysis of Micropore Aeration System's Oxygenating Ability Under Operation Condition in Waste Water Treatment Plant	WU Yuan-yuan, ZHOU Xiao-hong, SHI Han-chang, <i>et al.</i> (194)
Influence of Microbubble and Its Generation Process on Mixed Liquor Properties of Activated Sludge	LIU Chun, MA Jin, ZHANG Lei, <i>et al.</i> (198)
Impact of Different Nitrogen Concentrations on the N ₂ O Production in the Denitrification Process of Granular Sludge	HAN Xue, GAO Da-wen (204)
Effect of Simulated Heavy Metal Leaching Solution of Electroplating Sludge on the Bioactivity of <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	XIE Xin-yuan, SUN Pei-de, LOU Ju-qing, <i>et al.</i> (209)
Characteristic and Ion Exchanges During Cu ²⁺ and Cd ²⁺ Biosorption by <i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	BAI Jie-qiong, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (217)
Sorption of Nitrobenzene to Anionic Surfactant Modified Layered Double Hydroxides	XIA Yan, ZHU Run-liang, TAO Qi, <i>et al.</i> (226)
Study on Phosphate Removal and Recovery by Activated Alumina	MENG Wen-na, XIE Jie, WU De-yi, <i>et al.</i> (231)
Spatial Distribution of Inhalable Particulate and Association with Respiratory Disease in Beijing City	YANG Wei, ZHAO Wen-ji, GONG Zhao-ning, <i>et al.</i> (237)
Pollution Levels of Perfluorochemicals in Chicken Eggs and Duck Eggs from the Markets in Beijing	QI Yan-jie, ZHOU Zhen, SHI Ya-li, <i>et al.</i> (244)
Residual Levels of Pesticides in Freshwater Fish from Beijing Aquatic Product Markets and Health Risk Assessment	YU Zhi-yong, JIN Fen, SUN Jing-fang, <i>et al.</i> (251)
Characterizing the Toxicity Interaction of the Binary Mixture Between DMSO and Pesticide by the Multi-Effect Residual Analysis (MERA)	HUO Xiang-chen, LIU Shu-shen, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (257)
Isolation of Quinolofop- <i>p</i> -ethyl-degrading Bacteria from Soil by DGGE-Colony <i>in situ</i> Hybridization	LÜ Xin, PENG Xia-wei, HU Qing, <i>et al.</i> (263)
White-Rot Fungi Combinations Impact on Enzyme Productions	MENG Yao, LIANG Hong, GAO Da-wen (271)
Effects of Different Fertilizer Application on Soil Active Organic Carbon	ZHANG Rui, ZHANG Gui-long, JI Yan-yan, <i>et al.</i> (277)
Effect of Reclamation on the Vertical Distribution of SOC and Retention of DOC	HUO Li-li, ZOU Yuan-chun, GUO Jia-wei, <i>et al.</i> (283)
Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon and Its Composition in <i>Suaeda salsa</i> Wetland in the Yellow River Delta	DONG Hong-fang, YU Jun-bao, GUAN Bo (288)
Study the Restoration Technology of Concentrated Application-Natural Diffusion about Amendments of Acidified Soil of Hilly Woodland	FANG Xiong, LIU Ju-xiu, YIN Guang-cai, <i>et al.</i> (293)
Optimizing Remediation Conditions of Non-thermal Plasma for DDTs Heavily Contaminated Soil	CHEN Hai-hong, LUO Yong-ming, TENG Ying, <i>et al.</i> (302)
Chemical Extraction of Arsenic Co-precipitated with Amorphous Fe(OH) ₃ and Fe ₃ O ₄	CHEN Yi-ping, WANG Shao-feng, JIA Yong-feng (308)
Influence of Aluminum and Manganese on the Growth, Nutrient Uptake and the Efflux by Ectomycorrhizal Fungi	LI Hua, HUANG Jian-guo, YUAN Ling (315)
High-solids Anaerobic Co-digestion of Sludge and Kitchen Garbage Under Mesophilic Conditions	DUAN Ni-na, DONG Bin, LI Jiang-hua, <i>et al.</i> (321)
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of High Surface Area Biomass-based Activated Carbons	LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (328)
Study on Strategies of Pollution Prevention in Coastal City of Zhejiang Province Based on Scenario Analysis	TIAN Jin-ping, CHEN Lü-jun, DU Peng-fei, <i>et al.</i> (336)
Advance in the Bioavailability Monitoring of Heavy Metal Based on Microbial Whole-cell Sensor	HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xiu-liang, <i>et al.</i> (347)
Characteristics of Heavy Metal Contamination in Street Dusts Along the Urban-Rural Gradient Around Beijing	HE Xiao-yan, GU Pei, LI Xu-yong, <i>et al.</i> (357)
Content Trends of Pollutants in Street Dust of Beijing Along the Urban-Rural Gradient and Road Density Gradient	TANG Rong-li, MA Ke-ming, ZHANG Yu-xin, <i>et al.</i> (364)
Analysis of First Flush Effect of Typical Underlying Surface Runoff in Beijing Urban City	REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (373)
Temporal Variation of Water Quality and Driving Factors in Yanghe Watershed of Zhangjiakou	PANG Bo, WANG Tie-yu, LÜ Yong-long, <i>et al.</i> (379)
Research on Carbon Reduction Potential of Electric Vehicles for Low-Carbon Transportation and Its Influencing Factors	SHI Xiao-qing, LI Xiao-nuo, YANG Jian-xin (385)
Investigation of Waste Classification and Collection Actual Effect and the Study of Long Acting Management in the Community of Beijing	DENG Jun, XU Wan-ying, ZHOU Chuan-bin (395)
Problems and Countermeasures in the Application of Constructed Wetlands	HUANG Jin-lou, CHEN Qin, XU Lian-huang (401)

《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)

2013年1月15日 34卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 1 Jan. 15, 2013

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: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人