

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



2019

Vol.40 No.8
第40卷 第8期

目次

2016年京津冀地区红色预警时段PM_{2.5}污染特征与浓度控制效果 张冲, 郎建奎, 程水源, 王晓琦 (3397)

北京地区秋冬季大气污染特征及成因分析 徐冉, 张恒德, 杨孝文, 程水源, 张天航, 江琪 (3405)

合肥市PM_{2.5}和PM₁₀中元素组成特征及重污染成因分析 刘可可, 张红, 刘桂建 (3415)

濮阳市秋冬季大气细颗粒物污染特征及来源解析 陈楚, 王体健, 李源昊, 马红磊, 陈璞琬, 王德羿, 张元勋, 乔琦, 李光明, 王文红 (3421)

关中地区细颗粒物碳组分特征及来源解析 康宝荣, 刘立志, 刘焕武, 李养养, 艾双双, 曹宁, 雷颖 (3431)

长春季细颗粒物中有机气溶胶组成特征及来源 吴瑕, 曹芳, 翟晓瑶, 范美益, 张世春, 章炎麟 (3438)

中国城市扩张及空间特征变化对PM_{2.5}污染的影响 王桂林, 张炜 (3447)

不同湿法脱硫工艺对燃煤电厂PM_{2.5}排放的影响 邓建国, 马子珍, 李振, 段雷, 蒋靖坤 (3457)

浙江省合成革行业挥发性有机物污染特征及排放系数 徐佳琦, 王浙明, 宋爽, 徐志荣, 姚轶 (3463)

生活垃圾填埋场细菌气溶胶粒径分布及种群特征 马嘉伟, 杨凯雄, 柴风光, 王莹, 郭雪松, 李琳 (3470)

青岛近海生物气溶胶中总微生物的分布特征 官静, 祁建华, 李鸿涛 (3477)

广州饮用水水源地多环芳烃分布、来源及人体健康风险评价 宋玉梅, 王畅, 刘爽, 潘佳钊, 郭鹏然 (3489)

截污调水后滇池表层沉积物中16种PAHs的分布特征 胡昕怡, 高冰丽, 陈坦, 王洪涛, 金军, 饶竹, 朱雪芹, 王雪郡, 魏抱楷, 战楠, 刘彦廷, 戚敏 (3501)

黄河三角洲石油开采区盐渍化农田土壤多环芳烃的分布特征与源解析 邱慧, 刘月仙, 解小凡, 张萌, 王伟 (3509)

风场对太湖梅梁湾水华及营养盐空间分布的影响 余茂蕾, 洪国喜, 朱广伟, 权秋梅, 许海, 朱梦圆, 丁文浩, 李未, 吴挺峰 (3519)

向家坝水库营养盐时空分布特征及滞留效应 王耀耀, 吕林鹏, 纪道斌, 方海涛, 朱晓声, 张庆文, 霍静, 何金艳 (3530)

外源输入对底泥疏浚新生表层磷恢复及迁移的影响 李鑫, 耿雪, 王洪伟, 龚琬晴, 文帅龙, 钟继承, 李大鹏 (3539)

新疆喀什三角洲地下水SO₄²⁻化学特征及来源 魏兴, 周金龙, 乃尉华, 曾妍妍, 范薇, 李斌 (3550)

黄土区洛川塬地下水化学特征及影响因素分析 李洲, 李晨曦, 华琨, 李志 (3559)

北京市河流秋季浮游动物群落特征分析 王海邻, 刘玉飞, 任玉芬, 贺玉晓, 王思琪, 张红星, 王效科, 李紫鑫 (3568)

三峡水库干流底栖硅藻群落组成及其与环境因子的关系 刘黎, 贺新宇, 付君珂, 杨燕君, 米文梅, 施军琼, 吴忠兴 (3577)

渭河流域水体细菌群落的环境响应及生态功能预测 万甜, 何梦夏, 任杰辉, 闫幸幸, 程文 (3588)

汾河下游水体nirS型反硝化细菌群落组成与无机氮关系 汪银龙, 冯民权, 董向前 (3596)

饮用水快速砂滤池优势微生物群落的代谢功能解析 胡万超, 赵琛, 王巧娟, 刘锐平, 柏耀辉 (3604)

基于污水厂污泥资源化利用的粗放型绿色屋顶水质控制效果 彭航宇, 李田, 齐悦, 何云鹏, 黄楚玉, 张卓然 (3612)

植被对绿色屋顶径流量和水质影响 章孙逊, 张守红, 张英, 吴思婷 (3618)

光催化/活性炭/纳滤组合工艺处理二级出水及对膜污染的控制 范科文, 李星, 杨艳玲, 周志伟 (3626)

多种材料对水中氨氮的吸附特性 焦巨龙, 杨苏文, 谢宇, 金位栋, 闫玉红, 徐彬 (3633)

不同氨氮浓度对4株常见藻株生长及酶活性的影响 常婷, 许智慧, 程鹏飞, 徐继林, 周成旭 (3642)

3种基质材料对高浓度养殖废水处理效果及降解过程 刘铭羽, 夏梦华, 李远航, 陈坤, 赵聪芳, 李希, 李裕元, 吴金水 (3650)

铝污泥酸化提取液改性沸石的除磷特性及机制 韩芸, 胡玉洁, 连洁, 杨思哲, 齐泽宁 (3660)

缺氧MBBR耦合部分厌氧氨氧化强化城市生活污水深度脱氮 杨岚, 彭永臻, 李健伟, 高锐涛, 王茗, 李夕耀 (3668)

连续流系统中好氧段及沉淀段对污泥及其缺氧段脱氮能力的影响 薛欢婷, 袁林江, 刘小博, 孙恒锐 (3675)

FeS自养反硝化与厌氧氨氧化的耦合脱氮机制 马景德, 潘建新, 李泽敏, 王一显, 吴海珍, 韦朝海 (3683)

ANAMMOX体系中氨与硫酸盐的同步转化条件 董石语, 毕贞, 张文静, 黄勇 (3691)

全国城市污水处理厂中微生物群落的溯源分析 张冰, 吴林蔚, 文湘华 (3699)

不同溶解氧浓度下硝化工艺中微生物种群结构对比 刘文如, 顾广发, 宋小康, 杨殿海 (3706)

异养硝化细菌Acinetobacter junii NP1的同步脱氮除磷特性及动力学分析 杨奎, 陈宁, 任勇翔, 崔坤, 汪旭晖, 肖倩, 郭淋凯 (3713)

Type 0092丝状菌污泥微膨胀在短程硝化中的实现 高春娣, 安冉, 韩徽, 张娜, 任浩, 赵楠, 焦二龙, 彭永臻 (3722)

高盐高碱环境下硝化反硝化过程及N₂O产生特征 代伟, 赵剑强, 丁家志, 刘双 (3730)

生物炭对盐碱土壤氨挥发影响 王一宇, 王圣森, 戴九兰 (3738)

两种土壤增效剂对稻田氨挥发排放的影响 周玉玲, 侯朋福, 李刚华, 王绍华, 杨林章, 薛利红, 丁艳锋 (3746)

承德市滦河流域土壤重金属地球化学基线厘定及其累积特征 孙厚云, 卫晓锋, 甘凤伟, 王恒, 何泽新, 贾凤超, 张竞 (3753)

厦门某旱地土壤垂直剖面中重金属迁移规律及来源解析 张炜华, 于瑞莲, 杨玉杰, 胡恭任, 崔建勇, 颜妍, 黄华斌 (3764)

宝鸡市区土壤重金属污染影响因子探测及其源解析 张军, 董洁, 梁青芳, 杨宁宁, 耿雅妮 (3774)

铁铈氧化物对土壤As(V)和P的稳定化效果 林龙勇, 阎秀兰, 杨硕 (3785)

铁锰氧化物在不同水分条件下对土壤As的稳定化作用 周海燕, 邓一荣, 林龙勇, 曹梦华, 钟立荣 (3792)

生物质炭对双季稻水稻土微生物生物量碳、氮及可溶性有机碳氮的影响 刘杰云, 邱虎森, 汤宏, 沈健林, 吴金水 (3799)

有机物料对紫色土微生物量碳、氮及氮素供应的影响 汪月, 张名豪, 赵秀兰 (3808)

土地利用方式对土壤团聚体稳定性和有机碳含量的影响 罗晓虹, 王子芳, 陆畅, 黄容, 王富华, 高明 (3816)

宁南山区退耕还林还草对土壤氮素组成及其转化酶活的影响 高涵, 肖礼, 牛丹, 倪银霞, 黄懿梅 (3825)

不同浸提条件下生物炭溶解性有机物的浸出规律 何晶晶, 张昊昊, 仇俊杰, 邵立明, 吕凡 (3833)

基于成组生物毒性测试的PM_{2.5}毒性 江晓栋, 薛银刚, 魏永, 许霞, 刘菲, 薛柯, 施昕澜, 顾铭 (3840)

《环境科学》征订启事(3587) 《环境科学》征稿简则(3595) 信息(3611, 3705, 3745)

合肥市 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 中元素组成特征及重污染成因分析

刘可可¹, 张红², 刘桂建^{1*}

(1. 中国科学技术大学地球和空间科学学院, 合肥 230026; 2. 安徽省环境科学研究院, 合肥 230026)

摘要: 通过对合肥市 2018 年大气 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 样品的采集, 结合对样品中无机元素的测试分析, 研究了 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 中的元素组成特征, 并根据合肥市重污染天气和非污染天气下大气颗粒物中元素组成的差异性分析, 探讨了合肥市重污染天气的主要污染物来源与成因. 结果表明, 本研究所检测的 16 种元素中, Si、Al、Mg 和 Ca 这 4 种地壳元素在重污染天气的质量浓度较非污染天气低, 可能是重污染状况下的静风天气引起的地面扬尘减少所造成的; S、Na、K、Cl、Ti、Fe、P、Cu 和 Ni 等元素在重污染天气的质量浓度较非污染天气高, 其中 S 元素的增幅最大, 在重污染天气所占的比重和富集因子也大大提升, 表明燃煤排放源是合肥地区重污染天气的主要污染成因; 重金属元素含量低、富集因子大, 其主要来源可能为垃圾焚烧、机动车和工业排放.

关键词: 大气颗粒物; 重污染天气; 元素组成; 污染来源; 合肥市

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2019)08-3415-06 DOI: 10.13227/j.hjks.201901129

Elemental Composition Characteristics of PM_{2.5} and PM₁₀, and Heavy Pollution Analysis in Hefei

LIU Ke-ke¹, ZHANG Hong², LIU Gui-jian^{1*}

(1. School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China; 2. Anhui Research Academy of Environmental Sciences, Hefei 230026, China)

Abstract: Through the collection of atmospheric PM_{2.5} and PM₁₀ samples in Hefei in 2018, combined with high-precision testing of elements in these samples, the elemental composition of PM_{2.5} and PM₁₀ was studied during heavy pollution episodes and under non-pollution conditions. The main pollutant sources and causes of heavy pollution in Hefei are also discussed based on an analysis of the differences in the element composition of atmospheric particles. The results showed that, among the 16 elements detected, the mass concentrations of Si, Al, Mg, and Ca during heavy pollution episodes were lower than during non-polluted conditions. This may have been caused by a reduction in ground dust emission caused by calmer winds during heavily polluted conditions. In comparison, the mass concentrations of S, Na, K, Cl, Ti, Fe, P, Cu, and Ni were higher during heavy pollution episodes than during non-pollution conditions, and the difference was greatest for S. The proportion and enrichment factors for S were also greatly increased during heavy pollution events, indicating that its emission from coal burning is the main source of pollution in Hefei. The heavy metal content was low, however, and the enrichment factor was high, the main sources of which may be garbage incineration, motor vehicles, and industrial emissions.

Key words: atmospheric particulate matter; heavily polluted weather; elemental composition; source of pollution; Hefei

大气颗粒物是国内外许多城市大气环境的首要污染物, 与大气能见度^[1]、气候变化^[2, 3]以及人体健康^[4]等密切相关. 合肥市位于长江三角洲外围, 江淮之间中部, 城市化和工业化进展迅速, 大气颗粒物污染日益加重, 尤其是 2005 年之后, 年霾日数观测记录几乎都在 100d 以上^[5]. 污染天气下, 大气颗粒物中携带的各种污染物质特别是有毒害元素浓度大幅上升, 对人体健康及生态环境造成极大危害^[6].

近年来, 重污染天气过程的频繁出现引起了广泛的关注. 大量研究工作表明, 通过颗粒物组分分析可以有效识别重污染过程中的污染物来源, 并对污染源的管控和治理提供明确的指导. 郑子龙等^[7]研究了北京市一次混合型重污染过程中 TSP 和

PM₁₀ 的元素组分, 结果表明 Na、Mg、Al、K、Ca 和 Fe 元素是颗粒物的主要组分, 与非污染期相比, 重污染期时地壳元素质量浓度无明显升高, PM₁₀ 中重金属元素 Cd、Zn、As、Pb、Mo、Sn 和 Tl 的质量分数则明显升高, 且研究发现逆温和静稳天气是导致此次大气污染的主要气象条件; 赵金平等^[8]在广州采集 PM₁₀ 样品, 结果表明 Zn、Pb、As 和 Cu 等在污染期更易富集; 杨卫芬等^[9]对南京 PM_{2.5} 中元素组分的研究发现, Se、Cu、Hg 和 Bi 等人为污染元素的富集因子(enrichment factor, EF)较高, 且在污染

收稿日期: 2019-01-15; 修订日期: 2019-03-12

基金项目: 安徽省公益性技术应用研究联动项目(1604f0804001)

作者简介: 刘可可(1993~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为大气颗粒物污染, E-mail: kek@mail.ustc.edu.cn

* 通信作者, E-mail: lgj@ustc.edu.cn

期更易富集;张腾^[10]深入分析了太原采暖季大气 PM_{2.5}和 PM₁₀的化学组成特征(包括无机元素、水溶性离子和碳质组分),并结合气流后向轨迹探讨了采样期间重污染天气的可能成因,结果发现二次无机气溶胶的大量生成是采样期间重污染天气形成的化学本质,燃煤、工业生产、机动车排放等是重污染天气发生的内在原因.有关合肥市颗粒物中元素的研究较少,尤其缺少对合肥市不同天气状况下大气颗粒物中无机元素的分析.但有学者如汪洋等^[11]对合肥大气 PM_{2.5}中重金属元素的含量、富集系数和可能来源展开了研究.

本研究于2017年12月~2018年5月在合肥市长江西路和霍山路交叉口采集了 PM_{2.5}和 PM₁₀样品,对其中16种元素的污染特征和来源进行了分析,着重考察了重污染天气下大气 PM_{2.5}和 PM₁₀中各元素的组成、分布及源解析,以期对合肥市大气污染防治提供理论基础.

1 材料与方法

1.1 样品采集

本次采样点位于合肥市长江西路和霍山路的交汇处,采样站点周围主要为商业区和住宅区,无障碍物和大型工业源影响,可代表合肥城区人口密集区域的环境特征.使用武汉天虹 TH-16A 四通道大气颗粒物采样仪,采样仪大气入口距平台地面约 2 m,采样流速约 16.67 L·min⁻¹.采样日期为2017年12月~2018年5月间的无雨雪天气,每次连续采集 23 h(每天 17:00 至翌日 16:00).共采集 PM_{2.5}和 PM₁₀样品各 24 个,其中冬季 15 个,春季 9 个,包括 2 组重污染天气(2017-12-05 和 2018-01-19)样品,以及 10 组无污染天气样品.

采样滤膜采用直径为 47 mm 的有机滤膜(聚四氟乙烯).采样前,将有机滤膜置于鼓风干燥机中在 80℃下灼烧 2 h,以去除有机滤膜中的本底污染物.采样前后将滤膜放入平衡箱中恒温恒湿[温度(25±1)℃,湿度 50%±5%]平衡 24 h 后进行称量(称量精度为 1 μg),连续两次称量结果误差不大于 ±5 μg.通过滤膜采样前后质量变化和相应的空气体积,计算环境空气中 PM_{2.5}和 PM₁₀的质量浓度.采样并称量后将样品放入密封袋置于冰柜冷藏(-16℃)备用.

1.2 样品分析

采用 X 射线荧光光谱法(XRF),在中国科学技术大学理化研究中心,对 PM_{2.5}和 PM₁₀样品中 Na、Mg、Al、Si、P、S、Cl、K、Ca、Ti、Cr、Mn、Fe、Ni、Cu 和 Zn 元素进行了测试分析. X 射线荧光光谱法

(XRF)可对原子序数从 Na 到 U 的元素进行定量分析,且不会对样品造成损坏.其原理为:样品中某元素受到 X 射线激发时会产生特征 X 射线,每个元素的特征 X 射线强度除与激发源的能量和强度有关外,还与这种元素在样品中的含量有关.因此根据某元素特征 X 射线的荧光强弱可以定量分析出该元素的含量^[12].

1.3 富集因子分析

通常采用富集因子法研究自然污染源与人为污染源分别对大气污染的贡献^[13].如果某一元素的 EF > 10,则表明该元素明显受到了人为活动的影响;如果某一元素的 EF < 10,则表明该元素受人为活动的影响相对较小^[14].

富集因子的计算方法如下:

$$EF_i = \frac{(C_i/C_n)_{\text{环境}}}{(C_i/C_n)_{\text{背景}}} \quad (1)$$

式中, $(C_i/C_n)_{\text{环境}}$ 是指本研究颗粒物样品中各元素含量与参比元素含量的比值, $(C_i/C_n)_{\text{背景}}$ 是指地壳平均物质中元素含量与参比元素含量的比值.本研究大气颗粒物中 Fe 元素的质量分数变化较小,因此选取 Fe 元素做参比元素,地壳平均物质中元素含量采用文献[15, 16]中的参考值.

1.4 质量控制

每个月采样过程中均采集 2 个现场空白样品,取两者的各无机元素含量均值作为当月样品本底值扣除,空白样品上样品质量浓度均低于实际样品的 5%.每次采样过程中用到的镊子、样品盒等均用被二氯甲烷:甲醇(1:1,体积比)的溶剂抽提过的脱脂棉擦拭干净,采样仪切割头定期进行清洗.进行无机元素测量时,为保证数据精确可靠,每 10 个左右样品随机抽取一个进行平行分析,前后误差在 10% 内可再进行后续样品分析.

2 结果与讨论

2.1 元素浓度水平和季节变化

采样期间,PM_{2.5}和 PM₁₀中 S、Si、Cl、Na、Al、Ti、K、Mg 和 Ca 这 9 种元素贡献了测试元素总质量(除 N、O 和 C 元素以外)的 95% 以上(图 1 和图 2),其中 PM_{2.5}中 S 元素质量浓度最高,质量分数约为 30%,PM₁₀中 Si 元素质量浓度最高,质量分数在 34%~43% 之间. Fe、P、Cr、Ni、Cu、Zn 和 Mn 等元素含量较低,远小于北京^[12]和上海^[17]等城市,也远小于汪洋等^[11]在合肥的研究,表明本研究中采样站点大气颗粒物中重金属元素的浓度比其它地段要低,这可能是因为该采样点(商业区和居民区)周围工业企业较少. Cr 元素

具有致癌性, 根据谭吉华等^[18]关于大气颗粒物中 Cr⁶⁺/Cr 值的估算, 得出合肥市 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 中的 Cr⁶⁺ 浓度在 0.038 ~ 0.91 ng·m⁻³ 之间, 高于中国空气质量标准 (GB 3095-2012^[19]) 中规定的质量浓度年平均限值 (0.025 ng·m⁻³). 由表 1 可知, 地壳元素的 (PM_{2.5}/PM₁₀) 值均小于 0.5, 冬季时期 S、Cl、P、Cr、Cu、Ni 和 Zn 等污染元素的 (PM_{2.5}/PM₁₀) 值均大于 0.5, 春季时期 S、Ti、Cu 和 Ni 元素的 (PM_{2.5}/PM₁₀) 值也大于 0.5, 表明污染元素更易富集在细粒子中.

由表 1 可知, 春季时期 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 中 S 元素

表 1 合肥市与其它城市大气颗粒物中的元素质量浓度¹⁾/ng·m⁻³

Table 1 Element mass concentrations in atmospheric particulate matter in Hefei and other cities/ng·m⁻³

元素	合肥 (本研究)				北京 ^[12] PM _{2.1}		上海 ^[17] PM _{2.5} (冬季)		合肥 ^[11] PM _{2.5} (春季)	
	PM _{2.5}		PM ₁₀		冬季	夏季	污染日	清洁日	高新区站点	湖泊山庄站点
	冬季	春季	冬季	春季						
Si	321.05	660.57	1 985.72	4 559.45	409	527	—	—	—	—
S	563.62	779.34	1 073.89	1 345.53	3 490	6 219	5 649.7	2 806.5	—	—
Na	234.42	258.35	529.51	768.55	536	328	334.4	185.4	—	—
Al	99.95	234.55	720.06	1 613.07	106	178	722.9	671.9	—	—
Mg	56.30	123.63	322.43	767.39	84	71	46.9	37.8	—	—
K	76.65	71.34	155.20	247.15	992	706	646.1	286.5	—	—
Ca	50.65	61.97	408.07	588.57	215	206	—	—	—	—
Cl	259.97	98.82	428.25	272.67	1 614	1 352	—	—	—	—
Ti	95.50	112.97	153.39	210.68	22	55	—	—	—	—
Fe	19.78	25.59	53.43	102.17	318	436	507.7	266.7	11 335	5 420
P	12.42	12.48	23.09	40.67	68	42	—	—	—	—
Cr	6.38	0.29	7.00	3.30	25	46	23.6	13.9	119	39
Mn	1.30	0.92	4.06	2.00	93	84	55.2	29	142	162
Cu	5.48	7.22	7.02	13.68	42	42	18.9	8.8	3	40
Ni	5.73	4.36	5.58	7.48	13	19	7.5	4.6	30	17
Zn	3.24	2.57	6.05	7.32	335	453	232.5	106.7	125 262	63 290

1) “—”表示无此数据

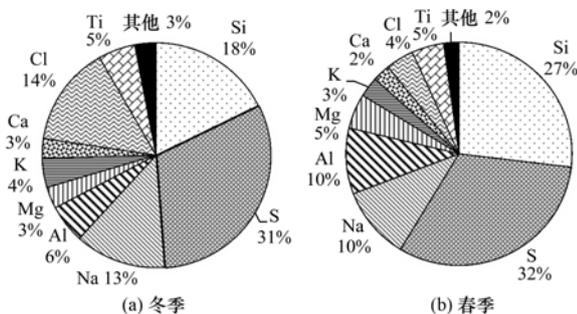


图 1 合肥市冬季和春季时期大气 PM_{2.5} 中各元素质量分数

Fig. 1 Mass fraction of each element in atmospheric PM_{2.5} during winter and spring in Hefei

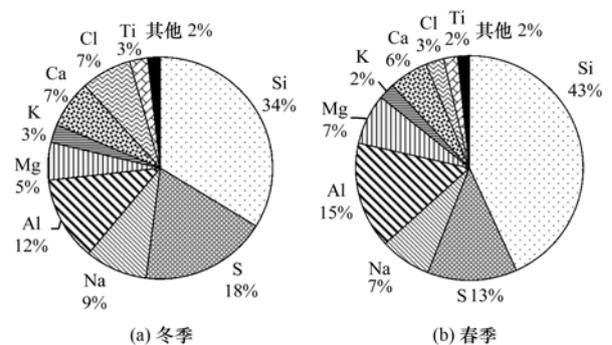


图 2 合肥市冬季和春季时期大气 PM₁₀ 中各元素质量分数

Fig. 2 Mass fraction of each element in atmospheric PM₁₀ during winter and spring in Hefei

2.2 重污染天气和非污染天气下元素组成差异性分析

由表 2 可知, 重污染天气下 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 中 ρ (无机元素) 分别为非污染天气的 1.6 和 1.2 倍, 该升幅低于颗粒物质量浓度的增幅 (PM_{2.5}: 76.45 μg·m⁻³ → 175.21 μg·m⁻³; PM₁₀: 112.11 μg·m⁻³

的质量浓度均明显高于冬季, 可能是春季大气氧化性和气温增高, 导致 SO₂ 向 SO₄²⁻ 的转化速率增大引起的^[12]. Si、Al、Na、Mg 和 Ti 等地壳元素表现出单一季节变化趋势, 均为春季含量高于冬季. 其余元素的质量浓度则整体上表现为冬季高于春季. 其中, PM_{2.5} 中 Mn、Ni 和 Zn 元素的冬季浓度比春季浓度高出 20% ~ 40%, Cl 和 Cr 元素的冬季浓度分别是春季浓度的 2.6 和 22 倍. PM₁₀ 中 Cl 元素的冬季浓度比春季浓度高出 57%, Mn 和 Cr 元素的冬季浓度约是春季浓度的 2 倍. 这可能与冬季采暖期燃煤、燃油排放增加有关^[12, 20].

→ 199.90 μg·m⁻³), 表明元素组分并非导致重污染天气下颗粒物质量浓度升高的主要因素. 本研究所检测的 16 种元素中, Si、Al、Mg 和 Ca 等元素在重污染天气的质量浓度较非污染天气低, 这与郑子龙等^[7]在北京的研究相反. 根据郑子龙等

和石春娥等^[21]关于重污染天气特征的分析,对比合肥市不同天气气象因素数据(表3),可知合肥市2017年冬季重污染天气也多为静风天气,推测地面扬尘减少是合肥市重污染天气大气颗粒物中上述元素质量浓度降低的原因.重污染天气和非污染天气下合肥市大气PM_{2.5}和PM₁₀中各元素质量分数分布如图3和图4所示.对比发现,PM_{2.5}和PM₁₀中Si、Al、Mg和Ca元素在重污染天气时所占的总比重均大幅降低,表明重污染天气下人为污染的贡献明显增大.S、Na、K、Cl、Ti、Fe、P、Cu和Ni等元素在重污染天气的质量浓度较非污染天气高,其中S元素的增幅最大.与非污染天气相比,重污染天气时PM_{2.5}和PM₁₀中S元素的质量浓度均增大了4倍以上,所占的比重增高了16%~26%.S元素主要来源于含硫煤的燃烧^[22],由此说明燃煤排放对大气污染程度增加具

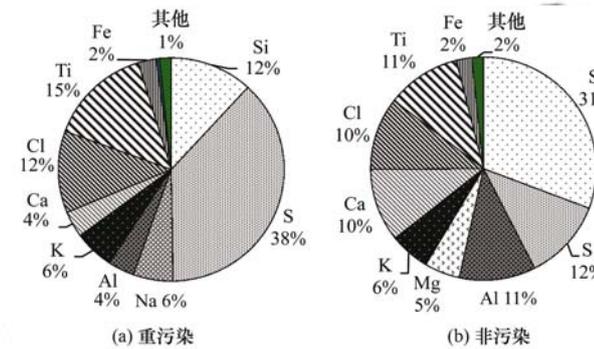


图3 重污染天气和非污染天气下合肥市大气PM_{2.5}中各元素质量分数

Fig. 3 Quality fraction of each element in atmospheric PM_{2.5} in Hefei during heavy and non-pollution weather conditions

有巨大贡献.

城市大气颗粒物中Pb、Zn和Cu的含量与机动车排放和垃圾燃烧有较大关系^[7, 23~25],Cr和Ni则常被认为来源于金属冶炼工业^[26]和机动车排放^[27].重污染天气下Cu、Ni和Cr等重金属元素质量浓度均有所提升,说明来自机动车和工业废气的污染对大气污染程度的增加有所贡献,但这些元素的质量浓度均较低,远小于北京^[28]、南京^[9]和沈阳^[29]等城市,表明该部分污染源对大气污染程度的贡献量较低.

表2 重污染天气和非污染天气下合肥市大气PM_{2.5}和PM₁₀中元素质量浓度¹⁾/ng·m⁻³

Table 2 Element mass concentrations of PM_{2.5} and PM₁₀ during heavy pollution episodes and non-pollution conditions in Hefei/ng·m⁻³

元素	PM _{2.5}		PM ₁₀	
	重污染	非污染(良)	重污染	非污染(良)
Si	88.28	139.35	829.02	1025.56
S	282.48	53.22	586.38	104.38
Na	42.37	0	220.4	196.37
Al	28.25	49.59	315.43	410.88
Mg	—	23.02	147.61	170.93
K	42.37	26.11	88.97	71.39
Ca	28.25	47.97	171.87	255.6
Cl	88.28	47.74	242.64	72.29
Ti	109.46	48.35	121.32	84.34
Fe	19.42	10.12	40.44	30.06
P	3.53	0	18.2	10.36
Cr	—	4.48	8.09	—
Mn	—	0	4.04	—
Cu	7.06	0	10.11	—
Ni	3.53	0	4.04	—
Zn	1.77	3.01	8.09	—

1) “—”表明该元素低于检测限

表3 重污染天气和非污染天气的气象要素

Table 3 Meteorological elements during heavily polluted and non-polluted weather

项目	中值温度/°C	气压/kPa	风速/m·s ⁻¹	相对湿度/%	能见度/km
重污染	4.5	101.66	1.1	85.8	1.59
非污染	6	101.9	2.2	41	12.87

2.3 富集因子分析

对不同天气状况下PM_{2.5}和PM₁₀中元素的EF分布进行比较分析,如图5所示,非污染天气下大气颗粒物中的一些元素含量常常低于检测限,因此这些元素的富集因子选取另一非污染天气下样品检测结果计算出的富集因子代替.在本研究所检测的16种元素中, Si、Na、Al、K、Ca、Mg和Mn等元素在重污染天气和非污染天气的EF均小于10,表明这类元素主要来源于自然源.Ti元素的自然源主要为扬尘,人为源主要与周围广泛的建筑活动有关^[30].观测期间,Ti元素的EF始终大于10,表明Ti元素主要来自人为源,这与观测期间采样点周围

正在进行的公路整修活动相关.除上述元素外,其余元素的EF均远大于10,表示受到人为活动的强烈影响.

PM_{2.5}和PM₁₀中S元素在重污染天气的EF分别为496.28和929.49,非污染天气下则分别为211.66和238.01,S元素的EF在重污染天气的显著增高进一步证明了燃煤排放源对大气污染程度增加具有显著贡献.PM_{2.5}中,Cl、Cr、Cu和Ni等元素的EF均介于100~1000之间,Zn元素的EF介于50~200之间,且这些元素在重污染天气时的EF均略低于或显著低于非污染天气,说明重污染天气下PM_{2.5}中这些元素相对非污染天气并未明显富集.

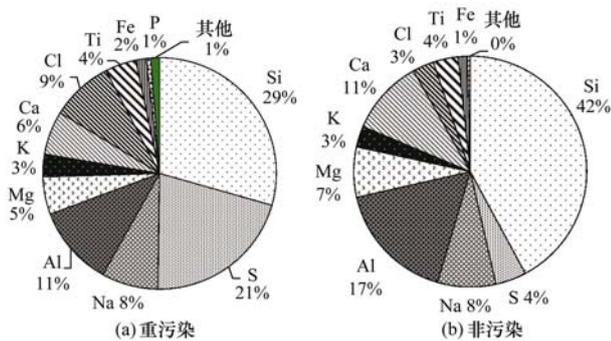


图4 重污染天气和非污染天气下合肥市大气 PM_{10} 中各元素质量分数

Fig. 4 Quality fraction of each element in atmospheric PM_{10} in Hefei during heavy and non-pollution weather conditions

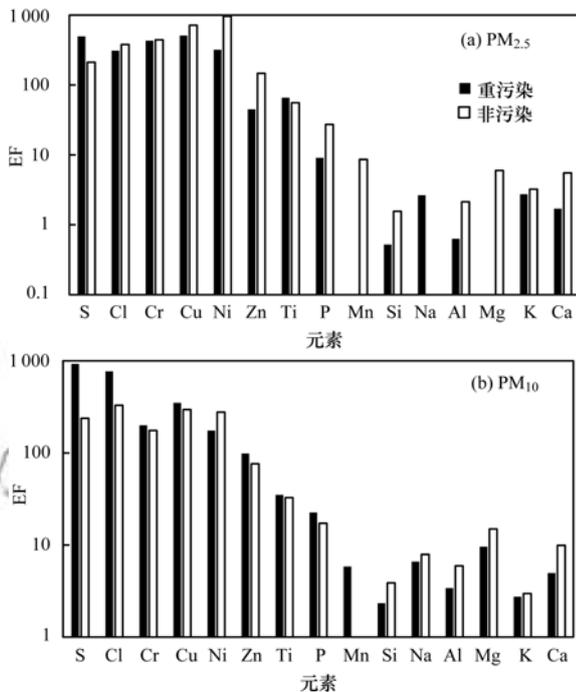


图5 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 中元素的 EF 分布

Fig. 5 Enrichment factors for elements in $PM_{2.5}$ and PM_{10}

与 $PM_{2.5}$ 相比, PM_{10} 中重金属元素的 EF 具有较大差异. 除 Ni 元素外, PM_{10} 中其余重金属元素在重污染天气的 EF 均大于非污染天气, 表明重污染天气下大部分重金属元素更易在 PM_{10} 中富集. 由上文中分析可知, 这些 EF 较高的重金属元素可能主要来源于垃圾燃烧、机动车排放和工业排放.

3 结论

(1) 采样期间, $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 中 S、Si、Cl、Na、Al、Ti、K、Mg 和 Ca 这 9 种元素贡献了测试元素总质量(除 N、O 和 C 元素以外)的 95% 以上, 其中 $PM_{2.5}$ 中 S 元素质量浓度最高, PM_{10} 中 Si 元素质量浓度最高. Fe、P、Cr、Ni、Cu、Zn 和 Mn 等元素含量较低. 大气颗粒物中 Si、Al、Ca 和 Mg 等地壳元

素, 以及 S 和 Cu 元素的质量浓度均表现为春季高于冬季, Cl、Cr 和 Mn 元素的质量浓度均表现为冬季高于春季.

(2) 本研究所检测的 16 种元素中, Si、Al、Mg 和 Ca 这 4 种地壳元素在重污染天气的质量浓度较非污染天气低, 可能是重污染天气的静风天气引起的地面扬尘减少所造成的; S、Na、K、Cl、Ti、Fe、P、Cu 和 Ni 等元素在重污染天气的质量浓度较非污染天气高, 其中, S 元素的增幅最大, 在重污染天气时所占的比重和 EF 也大大提升, 表明燃煤排放对大气污染程度增加具有显著作用.

(3) 重污染天气时, $PM_{2.5}$ 中 Cr、Cu、Ni 和 Zn 等元素的 EF 均略低于或显著低于非污染天气, 而 PM_{10} 中这些元素(除 Ni 外)的 EF 均大于非污染天气, 表明重污染天气大部分重金属元素更易富集在 PM_{10} 中. 这些 EF 较高的重金属元素可能主要来源于垃圾燃烧、机动车排放和工业排放.

参考文献:

- [1] 冯静, 董君, 李大伟. 青岛市区春夏季大气能见度与颗粒物的关系[J]. 环境监测管理与技术, 2013, 25(1): 18-21.
Feng J, Dong J, Li D W. The relationship between atmospheric visibility and particulate matter in spring and summer in Qingdao urban area[J]. Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2013, 25(1): 18-21.
- [2] 师华定, 高庆先, 张时煌, 等. 空气污染对气候变化影响与反馈的研究评述[J]. 环境科学研究, 2012, 25(9): 974-980.
Shi H D, Gao Q X, Zhang S H, et al. Research review of impacts and feedback of air pollution on climate change[J]. Research of Environmental Sciences, 2012, 25(9): 974-980.
- [3] 王体健, 李树, 庄炳亮, 等. 中国地区硫酸盐气溶胶的第一间接气候效应研究[J]. 气象科学, 2010, 30(5): 730-740.
Wang T J, Li S, Zhuang B L, et al. Study on the first indirect climatic effect of sulfate aerosol in China[J]. Journal of the Meteorological Sciences, 2010, 30(5): 730-740.
- [4] 王平利, 戴春雷, 张成江. 城市大气中颗粒物的研究现状及健康效应[J]. 中国环境监测, 2005, 21(1): 83-87.
Wang P L, Dai C L, Zhang C J. The study progress in the research for the particular in city air and its effect on human health[J]. Environmental Monitoring in China, 2005, 21(1): 83-87.
- [5] 石春娥, 邓学良, 朱彬, 等. 合肥市不同天气条件下大气气溶胶粒子理化特征分析[J]. 气象学报, 2016, 74(1): 149-163.
Shi C E, Deng X L, Zhu B, et al. Physical and chemical characteristics of atmospheric aerosol under the different weather conditions in Hefei[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2016, 74(1): 149-163.
- [6] 谢元博, 陈娟, 李巍. 雾霾重污染期间北京居民对高浓度 $PM_{2.5}$ 持续暴露的健康风险及其损害价值评估[J]. 环境科学, 2014, 35(1): 1-8.
Xie Y B, Chen J, Li W. An assessment of $PM_{2.5}$ related health risks and impaired values of Beijing residents in a consecutive high-level exposure during heavy haze days[J]. Environmental Science, 2014, 35(1): 1-8.

- [7] 郑子龙, 张凯, 陈义珍, 等. 北京一次混合型重污染过程大气颗粒物元素组分分析[J]. 环境科学研究, 2014, **27**(11): 1219-1226.
Zheng Z L, Zhang K, Chen Y Z, *et al.* Study on elements in aerosols during a mixed serious pollution episode in Beijing[J]. Research of Environmental Sciences, 2014, **27**(11): 1219-1226.
- [8] 赵金平, 谭吉华, 毕新慧, 等. 广州市灰霾期间大气颗粒物中无机元素的质量浓度[J]. 环境化学, 2008, **27**(3): 322-326.
Zhao J P, Tan J H, Bi X H, *et al.* The mass concentrations of inorganic elements in atmospheric particles during haze period in Guangzhou[J]. Environmental Chemistry, 2008, **27**(3): 322-326.
- [9] 杨卫芬, 银燕, 魏玉香, 等. 霾天气下南京 PM_{2.5} 中金属元素污染特征及来源分析[J]. 中国环境科学, 2010, **30**(1): 12-17.
Yang W F, Yin Y, Wei Y X, *et al.* Characteristics and sources of metal elements in PM_{2.5} during hazy days in Nanjing [J]. China Environmental Science, 2010, **30**(1): 12-17.
- [10] 张腾. 太原市采暖季大气颗粒物化学组成特征及来源解析和重污染成因分析[D]. 太原: 太原理工大学, 2016.
Zhang T. Study on chemical characteristics and source of particulate matter and heavy pollution analysis in heating season, Taiyuan[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2016.
- [11] 汪洋, 吴纒, 张良璞, 等. 合肥市初夏 PM_{2.5} 中重金属元素污染特征分析[J]. 安徽化工, 2016, **42**(1): 74-76, 80.
Wang Y, Wu Y, Zhang L P, *et al.* Characteristics analysis of PM_{2.5} in heavy metal elements in Hefei early summer[J]. Anhui Chemical Industry, 2016, **42**(1): 74-76, 80.
- [12] 李佳琦, 吴焯, 荣少洁, 等. 北京道路交通环境亚微米颗粒物元素组成特征及来源分析[J]. 环境科学学报, 2015, **35**(1): 49-55.
Li J Q, Wu Y, Song S J, *et al.* Characteristics and source apportionment of elements in submicron particulate matter near an urban freeway in Beijing [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2015, **35**(1): 49-55.
- [13] 王淑兰, 柴发合, 杨天行. 北京市不同尺度大气颗粒物元素组成的特征分析[J]. 环境科学研究, 2002, **15**(4): 10-12.
Wang S L, Chai F H, Yang T X. Characteristics analysis of elements contained in air suspended particles with different sizes in Beijing[J]. Research of Environmental Sciences, 2002, **15**(4): 10-12.
- [14] Odabasi M, Muezzinoglu A, Bozlaker A. Ambient concentrations and dry deposition fluxes of trace elements in Izmir, Turkey[J]. Atmospheric Environment, 2002, **36**(38): 5841-5851.
- [15] Taylor S R, McLennan S M. The geochemical evolution of the continental crust [J]. Reviews of Geophysics, 1995, **33**(2): 241-265.
- [16] Mason B, Moore C B. Principles of Geochemistry (4th ed.) [M]. New York: John Wiley and Sons, 1982. 46-47.
- [17] 胡鸣, 张懿华, 赵倩彪. 上海市冬季 PM_{2.5} 无机元素污染特征及来源分析[J]. 环境科学学报, 2015, **35**(7): 1993-1999.
Hu M, Zhang Y H, Zhao Q B. Characteristics and sources of inorganic elements in PM_{2.5} during wintertime in Shanghai [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2015, **35**(7): 1993-1999.
- [18] 谭吉华, 段菁春. 中国大气颗粒物重金属污染、来源及控制建议[J]. 中国科学院研究生院学报, 2013, **30**(2): 145-155.
Tan J H, Duan J C. Heavy metals in aerosol in China: pollution, sources, and control strategies [J]. Journal of Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2013, **30**(2): 145-155.
- [19] GB 3095-2012, 环境空气质量标准[S].
- [20] 陈珂, 窦筱艳, 马伟, 等. 西宁市非采暖季和采暖季 PM_{2.5} 中 14 种金属元素特征[J]. 中国环境监测, 2018, **34**(2): 28-34.
Chen K, Dou X Y, Ma W, *et al.* A preliminary study on the characteristics of 14 metal elements in PM_{2.5} during non-heating season and heating season of Xining [J]. Environmental Monitoring in China, 2018, **34**(2): 28-34.
- [21] 石春娥, 张浩, 弓中强, 等. 2013-2015 年合肥市 PM_{2.5} 重污染特征研究[J]. 气象学报, 2017, **75**(4): 632-644.
Shi C E, Zhang H, Gong Z Q, *et al.* Characteristics of severe PM_{2.5} pollution in Hefei during 2013- 2015 [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2017, **75**(4): 632-644.
- [22] Shen Z X, Cao J J, Arimoto R, *et al.* Chemical characteristics of fine particles (PM₁) from Xi'an, China [J]. Aerosol Science and Technology, 2010, **44**(6): 461-472.
- [23] Monaci F, Moni F, Lanciotti E, *et al.* Biomonitoring of airborne metals in urban environments: new tracers of vehicle emission, in place of lead [J]. Environmental Pollution, 2000, **107**(3): 321-327.
- [24] Modrzewska B, Wyszowski M. Trace metals content in soils along the state road 51 (northeastern Poland) [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2014, **186**(4): 2589-2597.
- [25] Onat B, Sahin U A, Akyuz T. Elemental characterization of PM_{2.5} and PM₁ in dense traffic area in Istanbul, Turkey [J]. Atmospheric Pollution Research, 2013, **4**(1): 101-105.
- [26] Wu G J, Xu B Q, Yao T D, *et al.* Heavy metals in aerosol samples from the eastern pamirs collected 2004- 2006 [J]. Atmospheric Research, 2009, **93**(4): 784-792.
- [27] 翟立群, 郑祥民, 周立旻, 等. 上海市交通主干道沿线大气颗粒物及其重金属含量分布特征[J]. 城市环境与城市生态, 2010, **23**(1): 10-13.
Zhai L Q, Zheng X M, Zhou L M, *et al.* Distribution characteristics about atmospheric particulate and content of heavy metal along traffic mainliner in Shanghai [J]. Urban Environment & Urban Ecology, 2010, **23**(1): 10-13.
- [28] 贾岳清, 殷惠民, 周瑞, 等. 北京初冬季 PM_{2.5} 中无机元素与二次水溶性离子浓度特征[J]. 环境化学, 2018, **37**(12): 2767-2773.
Jia Y Q, Yin H M, Zhou R, *et al.* Characteristics of water-soluble inorganic ions and inorganic elements of PM_{2.5} in Beijing [J]. Environmental Chemistry, 2018, **37**(12): 2767-2773.
- [29] 洪也, 马雁军, 韩文霞, 等. 沈阳市冬季大气颗粒物元素浓度及富集因子的粒径分布[J]. 环境科学学报, 2011, **31**(11): 2336-2346.
Hong Y, Ma Y J, Han W X, *et al.* Wintertime size distribution of element concentrations and enrichment factors in ambient particulate [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2011, **31**(11): 2336-2346.
- [30] Balasubramanian R, Qian W B. Characterization and source identification of airborne trace metals in Singapore [J]. Journal of Environmental Monitoring, 2004, **6**(10): 813-818.

CONTENTS

Characteristics of PM _{2.5} Pollution and the Efficiency of Concentration Control During a Red Alert in the Beijing-Tianjin-Hebei Region, 2016	ZHANG Chong, LANG Jian-lei, CHENG Shui-yuan, <i>et al.</i>	(3397)
Concentration Characteristics of PM _{2.5} and the Causes of Heavy Air Pollution Events in Beijing During Autumn and Winter	XU Ran, ZHANG Heng-de, YANG Xiao-wen, <i>et al.</i>	(3405)
Elemental Composition Characteristics of PM _{2.5} and PM ₁₀ , and Heavy Pollution Analysis in Hefei	LIU Ke-ke, ZHANG Hong, LIU Gui-jian	(3415)
Pollution Characteristics and Source Apportionment of Fine Particulate Matter in Autumn and Winter in Puyang, China	CHEN Chu, WANG Ti-jian, LI Yuan-hao, <i>et al.</i>	(3421)
Pollution Characteristics and Sources of Carbonaceous Components in PM _{2.5} in the Guanzhong Area	KANG Bao-rong, LIU Li-zhong, LIU Huan-wu, <i>et al.</i>	(3431)
Molecular Composition and Source Apportionment of Fine Organic Aerosols in Autumn in Changchun	WU Xia, CAO Fang, ZHAI Xiao-yao, <i>et al.</i>	(3438)
Effects of Urban Expansion and Changes in Urban Characteristics on PM _{2.5} Pollution in China	WANG Gui-lin, ZHANG Wei	(3447)
Effect of a Wet Flue Gas Desulphurization System on the Emission of PM _{2.5} from Coal-Fired Power Plants	DENG Jian-guo, MA Zi-zhen, LI Zhen, <i>et al.</i>	(3457)
Pollution Characteristics and Emission Coefficients for Volatile Organic Compounds from the Synthetic Leather Industry in Zhejiang Province	XU Jia-qí, WANG Zhe-míng, SONG Shuang, <i>et al.</i>	(3463)
Particle Size Distribution and Population Characteristics of Airborne Bacteria Emitted from a Sanitary Landfill Site	MA Jia-wei, YANG Kai-xiong, CHAI Feng-guang, <i>et al.</i>	(3470)
Distribution of Total Microbes in Atmospheric Bioaerosols in the Coastal Region of Qingdao	GONG Jing, QI Jian-hua, LI Hong-tao	(3477)
Distribution, Sources, and Health Risk Assessment of PAHs in Water Supply Source Regions of Guangzhou	SONG Yu-mei, WANG Chang, LIU Shang, <i>et al.</i>	(3489)
Distribution of 16 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Dianchi Lake Surface Sediments After the Integrated Water Environment Control Project	HU Xin-yi, GAO Bing-li, CHEN Tan, <i>et al.</i>	(3501)
Distribution Characteristics and Source Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Salinized Farmland Soil from the Oil Mining Area of the Yellow River Delta	QIU Hui, LIU Yue-xian, XIE Xiao-fan, <i>et al.</i>	(3509)
Wind Field Influences on the Spatial Distribution of Cyanobacterial Blooms and Nutrients in Meiliang Bay of Lake Taihu, China	YU Mao-lei, HONG Guo-xi, ZHU Guang-wei, <i>et al.</i>	(3519)
Spatial and Temporal Distribution Characteristics and the Retention Effects of Nutrients in Xiangjiaba Reservoir	WANG Yao-yao, LÜ Lin-peng, JI Dao-bin, <i>et al.</i>	(3530)
Effects of Exogenous Inputs on Phosphorus Recovery and Transport in Newborn Surface Layers from Sediment Dredging	LI Xin, GENG Xue, WANG Hong-wei, <i>et al.</i>	(3539)
Chemical Characteristics and Sources of Groundwater Sulfate in the Kashgar Delta, Xinjiang	WEI Xing, ZHOU Jin-long, NAI Wei-hua, <i>et al.</i>	(3550)
Groundwater Chemistry Characteristics and the Analysis of Influence Factors in the Luochuan Loess Tablelands	LI Zhou, LI Chen-xi, HUA Kun, <i>et al.</i>	(3559)
Analysis of River Zooplankton Community Characteristics in Autumn in Beijing	WANG Hai-lin, LIU Yu-fei, REN Yu-fen, <i>et al.</i>	(3568)
Benthic Diatom Communities in the Main Stream of Three Gorges Reservoir Area and Its Relationship with Environmental Factors	LIU Li, HE Xin-yu, FU Jun-ke, <i>et al.</i>	(3577)
Environmental Response and Ecological Function Prediction of Aquatic Bacterial Communities in the Weihe River Basin	WAN Tian, HE Meng-xia, REN Jie-hui, <i>et al.</i>	(3588)
Community Composition of <i>nirS</i> -type Denitrifying Bacteria in the Waters of the Lower Reaches of the Fenne River and Its Relationship with Inorganic Nitrogen	WANG Yin-long, FENG Min-quan, DONG Xiang-qian	(3596)
Metabolic Functional Analysis of Dominant Microbial Communities in the Rapid Sand Filters for Drinking Water	HU Wan-chao, ZHAO Chen, WANG Qiao-juan, <i>et al.</i>	(3604)
Control Measure Effects on the Effluent Quality from Extensive Green Roofs Based on Stabilized Sludge Recycling	PENG Hang-yu, LI Tian, QI Yue, <i>et al.</i>	(3612)
Impacts of Vegetation on Quantity and Quality of Runoff from Green Roofs	ZHANG Sun-xun, ZHANG Shou-hong, ZHANG Ying, <i>et al.</i>	(3618)
Organic Matter Removal and Membrane Fouling Control of Secondary Effluents Using a Combined Nanofiltration Process	FAN Ke-wen, LI Xing, YANG Yan-ling, <i>et al.</i>	(3626)
Adsorption Properties of Ammonia Nitrogen in Aqueous Solution by Various Materials	JIAO Ju-long, YANG Su-wen, XIE Yu, <i>et al.</i>	(3633)
Effects of Different Concentrations of Ammonia Nitrogen on the Growth and Enzyme Activity of Four Common Algae Strains	CHANG Ting, XU Zhi-hui, CHENG Peng-fei, <i>et al.</i>	(3642)
Treatment of Highly Concentrated Swine Wastewater and Its Degradation Processes Using Three Matrix Materials	LIU Ming-yu, XIA Meng-hua, LI Yuan-hang, <i>et al.</i>	(3650)
Phosphorus Removal Performance and Mechanism of Modified Zeolite Using Alum Sludge Acidified Extraction Liquid	HAN Yun, HU Yu-jie, LIAN Jie, <i>et al.</i>	(3660)
Advanced Denitrification of Municipal Wastewater Achieved via Partial ANAMMOX in Anoxic MBBR	YANG Lan, PENG Yong-zhen, LI Jian-wei, <i>et al.</i>	(3668)
Effect of an Aerobic Unit and a Sedimentation Unit on Sludge and Nitrogen Removal in an Anoxic Unit in a Continuous-flow System	XUE Huan-ting, YUAN Lin-jiang, LIU Xiao-bo, <i>et al.</i>	(3675)
Performance and Mechanisms of Advanced Nitrogen Removal via FeS-driven Autotrophic Denitrification Coupled with ANAMMOX	MA Jing-de, PAN Jian-xin, LI Ze-min, <i>et al.</i>	(3683)
Simultaneous Conversion Conditions of Ammonia and Sulfate in ANAMMOX Systems	DONG Shi-yu, BI Zhen, ZHANG Wen-jing, <i>et al.</i>	(3691)
Potential Source Environments for Microbial Communities in Wastewater Treatment Plants (WWTPs) in China	ZHANG Bing, WU Lin-wei, WEN Xiang-hua	(3699)
Comparison of the Microbial Community Structure in Nitrifying Processes Operating with Different Dissolved Oxygen Concentrations	LIU Wen-ru, GU Guang-fa, SONG Xiao-kang, <i>et al.</i>	(3706)
Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal and Kinetics by the Heterotrophic Nitrifying Bacterium <i>Acinetobacter junii</i> NPI	YANG Lei, CHEN Ning, REN Yong-xiang, <i>et al.</i>	(3713)
Realization of Limited Filamentous Bulking with Type 0092 Filamentous Bacteria as the Dominant Filamentous Bacteria in Shortcut Nitrification	GAO Chun-di, AN Ran, HAN Hui, <i>et al.</i>	(3722)
Nitrification, Denitrification, and N ₂ O Production Under Saline and Alkaline Conditions	DAI Wei, ZHAO Jian-qiang, DING Jia-zhi, <i>et al.</i>	(3730)
Effect of Biochar on Ammonia Volatilization in Saline-Alkali Soil	WANG Yi-yu, WANG Sheng-sen, DAI Jiu-lan	(3738)
Effect of Two Soil Synergists on Ammonia Volatilization in Paddy Fields	ZHOU Yu-ling, HOU Peng-fu, LI Gang-hua, <i>et al.</i>	(3746)
Determination of Heavy Metal Geochemical Baseline Values and Its Accumulation in Soils of the Luanhe River Basin, Chengde	SUN Hou-yun, WEI Xiao-feng, GAN Feng-wei, <i>et al.</i>	(3753)
Migration and Source Analysis of Heavy Metals in Vertical Soil Profiles of the Drylands of Xiamen City	ZHANG Wei-hua, YU Rui-lian, YANG Yu-jie, <i>et al.</i>	(3764)
Heavy Metal Pollution Characteristics and Influencing Factors in Baoji Urban Soils	ZHANG Jun, DONG Jie, LIANG Qing-fang, <i>et al.</i>	(3774)
Stabilizing Effects of Fe-Ce Oxide on Soil As(V) and P	LIN Long-yong, YAN Xiu-lan, YANG Shuo	(3785)
Stabilization of Arsenic-Contaminated Soils Using Fe-Mn Oxide Under Different Water Conditions	ZHOU Hai-yan, DENG Yi-rong, LIN Long-yong, <i>et al.</i>	(3792)
Effects of Biochar Amendment on Soil Microbial Biomass Carbon, Nitrogen and Dissolved Organic Carbon, Nitrogen in Paddy Soils	LIU Jie-yun, QIU Hu-sen, TANG Hong, <i>et al.</i>	(3799)
Effects of Organic Amendments on Microbial Biomass Carbon and Nitrogen Uptake by Corn Seedlings Grown in Two Purple Soils	WANG Yue, ZHANG Ming-hao, ZHAO Xiu-lan	(3808)
Effects of Land Use Type on the Content and Stability of Organic Carbon in Soil Aggregates	LUO Xiao-hong, WANG Zi-fang, LU Chang, <i>et al.</i>	(3816)
Effects of Converting Farmland into Forest and Grassland on Soil Nitrogen Component and Conversion Enzyme Activity in the Mountainous Area of Southern Ningxia	GAO Han, XIAO Li, NIU Dan, <i>et al.</i>	(3825)
Leaching Behavior of Dissolved Organic Matter in Biochar with Different Extracting Agents	HE Pin-jing, ZHANG Hao-hao, QIU Jun-jie, <i>et al.</i>	(3833)
Toxicity of PM _{2.5} Based on a Battery of Bioassays	JIANG Xiao-dong, XUE Yin-gang, WEI Yong, <i>et al.</i>	(3840)