

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第3期

Vol.36 No.3

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

重庆市 PM _{2.5} 浓度空间分异模拟及影响因子	吴健生, 廖星, 彭建, 黄秀兰 (759)
2012~2013 年间北京市 PM _{2.5} 中水溶性离子时空分布规律及相关性分析	杨懂艳, 刘保献, 张大伟, 陈圆圆, 周健楠, 梁云平 (768)
南京地区大气 PM _{1.1} 中 OC、EC 特征及来源解析	姜文娟, 郭照冰, 刘凤玲, 芮茂凌, 石磊, 曾钢, 郭子研 (774)
太原市大气 PM _{2.5} 中碳质组成及变化特征	张桂香, 闫雨龙, 郭利利, 何秋生, 陈来国 (780)
朔州市市区 PM _{2.5} 中元素碳、有机碳的分布特征	刘凤娟, 彭林, 白慧玲, 牟玲, 刘效峰, 李丽娟, 刘欣 (787)
中国 2013 年 1 月 PM _{2.5} 重污染过程卫星反演研究	薛文博, 武卫玲, 付飞, 王金南, 韩宝平, 雷宇 (794)
高空偏北风背景下北京地区高污染形成的环境气象机制研究	廖晓农, 孙兆彬, 唐宜西, 蒲维维, 李梓铭, 卢冰 (801)
重庆缙云山降水中不同形态汞的含量及其沉降量	覃蔡清, 王永敏, 彭玉龙, 王定勇 (809)
海南五指山大气气态总汞含量变化特征	雷育涛, 刘明, 陈来国, 谢东海, 林道征, 赵明江, 张毅强, 孙家仁 (817)
树叶烟尘中的有机碳和元素碳	陈惠雨, 刘刚, 徐慧, 李久海, 吴丹 (824)
介质阻挡放电对氯苯的降解特性及其产物分析	姜理英, 曹书岭, 朱润晔, 陈建孟, 苏飞 (831)
长江口及浙江近岸海域表层沉积物中多环芳烃分布、来源与风险评价	母清林, 方杰, 邵君波, 张庆红, 王晓华, 黄备 (839)
河流沉积物对典型 PPCPs 的吸附特性及其影响因素	王凯, 李侃竹, 周亦圆, 刘振鸿, 薛罡, 高品 (847)
岩溶地下河表层沉积物多环芳烃的污染及生态风险研究	蓝家程, 孙玉川, 师阳, 梁作兵 (855)
岩溶地下河系统多介质中多环芳烃污染特征及来源解析	卢丽, 王喆, 裴建国 (862)
两江交汇处水体溶解性有机质的吸收和荧光光谱特征: 以渠江-嘉陵江、涪江-嘉陵江为例	闫金龙, 江韬, 高洁, 魏世强, 卢松, 刘江 (869)
三峡库区典型农业小流域土壤溶解性有机质的紫外-可见及荧光特征	王齐磊, 江韬, 赵铮, 木志坚, 魏世强, 闫金龙, 梁俭 (879)
夏、冬季降雨中溶解性有机质 (DOM) 光谱特征及来源辨析	梁俭, 江韬, 魏世强, 卢松, 闫金龙, 王齐磊, 高洁 (888)
南水北调丹江口水库原水有机物分子组成规律及其强化混凝处理的效能对比	程拓, 徐斌, 朱贺振, 夏圣骥, 楚文海, 胡广新 (898)
夏季大辽河河口区水体反硝化及其影响因素	杨丽标, 雷坤, 孟伟 (905)
太湖入湖河流溶解性有机碳来源及碳水化合物生物可利用性	叶琳琳, 吴晓东, 孔繁翔, 刘波, 闫德智 (914)
汉丰湖夏季浮游植物群落与环境因子的典范对应分析	王宇飞, 赵秀兰, 何丙辉, 黄琪 (922)
三峡蓄水期间汉丰湖消落区营养状态时间变化	黄祺, 何丙辉, 赵秀兰, 王宇飞 (928)
太湖水华期营养盐空间分异特征与赋存量估算	金颖薇, 朱广伟, 许海, 朱梦圆 (936)
贝江浮游藻类群落特征及富营养化风险分析	苟婷, 马千里, 许振成, 王丽, 李杰, 赵学敏 (946)
物理和摇蚊幼虫组合扰动对内源磷再生和形态转化的协同作用	史晓丹, 李大鹏, 王忍, 黄勇 (955)
磷限制下光照和温度对水华鱼腥藻生长动力学的影响	殷志坤, 李哲, 王胜, 郭劲松, 肖艳, 刘静, 张萍 (963)
矿物基多孔颗粒材料净化石英纯化废水研究	王恩文, 雷绍民, 张世春, 黄腾 (969)
PAA 改性纳米铁强化还原降解水中亚甲基蓝	和婧, 王向宇, 王培, 刘坤乾 (980)
微球负载双核锰配合物作为新型非均相 CWPO 催化剂对活性蓝 P-3R 的脱色应用	宋敏, 张琳萍, 钟毅, 徐红, 毛志平 (989)
生物合成施氏矿物作为类芬顿反应催化剂降解甲基橙的研究	汪快兵, 方迪, 徐峙晖, 施瑛, 郑冠宇, 周立祥 (995)
污泥厌氧产酸发酵液作碳源强化污水脱氮除磷中试研究	罗哲, 周光杰, 刘宏波, 聂新宇, 陈宇, 翟丽琴, 刘和 (1000)
高含固污泥水热预处理中碳、氮、磷、硫转化规律	卓杨, 韩芸, 程瑶, 彭党聪, 李玉友 (1006)
MBR 与 SMBR 脱氮除磷特性及膜污染控制	郭小马, 赵焱, 王开演, 赵阳国 (1013)
基质 COD 浓度对单室微生物电解池产甲烷的影响	滕文凯, 刘广立, 骆海萍, 张仁铎, 符诗雨 (1021)
天然沸石中离子交换平衡的离子特异性研究	何云华, 李航, 刘新敏, 熊海灵 (1027)
开封城市土壤重金属污染及潜在生态风险评价	李一蒙, 马建华, 刘德新, 孙艳丽, 陈彦芳 (1037)
不同种植模式对土壤团聚体及有机碳组分的影响	邱晓蕾, 宗良纲, 刘一凡, 杜霞飞, 罗敏, 汪润池 (1045)
种植花椒对喀斯特石漠化地区土壤有机碳矿化及活性有机碳的影响	张文娟, 廖洪凯, 龙健, 李娟, 刘灵飞 (1053)
江西铜矿及冶炼厂周边土壤和农作物稀土元素含量与评价	金姝兰, 黄益宗, 王斐, 徐峰, 王小玲, 高柱, 胡莹, 乔敏, 李季, 向猛 (1060)
镉与 S-异丙甲草胺对斜生栅藻的联合毒性作用	章小强, 胡晓娜, 陈彩东, 刘惠君 (1069)
高寒灌丛退化演替过程对生态系统呼吸温度敏感性的影响	李东, 罗旭鹏, 曹广民, 吴琴, 胡启武, 卓玛措, 李惠梅 (1075)
黄土高原纸坊沟流域不同植物叶片及枯落物的生态化学计量学特征研究	李鑫, 曾全超, 安韶山, 董扬红, 李娅芸 (1084)
单斜相纳米氧化钴基低温 SCR 催化剂脱硝机制研究	叶飞, 刘荣, 管昊, 贡湘君, 季凌晨 (1092)
不同有机物料中的磷形态特征研究	邓佳, 胡梦坤, 赵秀兰, 倪九派, 谢德体 (1098)
北京电动出租车与燃油出租车生命周期环境影响比较研究	施晓清, 孙赵鑫, 李笑诺, 李金香, 杨建新 (1105)
燃煤电厂排放细颗粒物的水溶性无机离子特征综述	段雷, 马子轸, 李振, 蒋靖坤, 叶芝祥 (1117)
菌根真菌金属耐性机制研究进展	陈保冬, 孙玉青, 张莘, 伍松林 (1123)
亚硝酸盐型甲烷厌氧氧化微生物特性研究进展	沈李东 (1133)
《环境科学》征订启事 (830) 《环境科学》征稿简则 (846) 信息 (838, 861, 913, 935)	

树叶烟尘中的有机碳和元素碳

陈惠雨, 刘刚*, 徐慧, 李久海, 吴丹

(南京信息工程大学环境科学与工程学院, 南京 210044)

摘要: 为了探讨不同燃烧条件下树叶烟尘中有机碳(OC)、元素碳(EC)及 8 种碳组分(OC1 ~ OC4、POC、EC1 ~ EC3)的质量分数及分布, 利用自制的燃烧采样装置, 对 10 种绿叶进行了阴、明燃两种条件的燃烧, 并用热/光碳分析仪对产生的烟尘进行了测定. 结果表明, 10 种绿叶阴燃烟尘中的 OC、EC 质量分数均值分别为 48.9% 和 4.5%, 焦炭 char-EC(定义为 EC1 - POC)的质量分数均值为 4.4%. 该条件下绿叶燃烧的烟尘(PM)、OC 及 EC 的排放因子均值分别为 102.4、50.0 和 4.7 g·kg⁻¹, 烟尘中 OC/EC、OC1/OC2 及焦炭和炭灰的比值 char-EC/soot-EC(定义为 EC1 - POC/EC2 + EC3)的均值分别为 11.5、1.9 和 48.1. 明燃条件下, 10 种绿叶烟尘中 OC、EC 及 char-EC 的质量分数均值分别为 44.9%、10.9% 和 10.7%, PM、OC 及 EC 的排放因子均值分别为 59.2、26.6 和 6.0 g·kg⁻¹. 10 种绿叶明燃烟尘中上述三特征比值的均值分别为 4.8、1.1 和 133.0. 树叶阴燃烟尘中 OC1 质量分数及 OC1/OC2 值均显著高于明燃, 而明燃烟尘中的 char-EC 质量分数及 char-EC/soot-EC 显著大于阴燃. 树叶烟尘中 OC、EC 的组成在不同树种及燃烧条件间均体现出一些差异, 同时也明显区别于其他生物质烟尘.

关键词: 绿叶; 烟尘; 有机碳; 元素碳; 碳组分

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)03-0824-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.03.010

Organic and Element Carbon in Foliar Smoke

CHEN Hui-yu, LIU Gang*, XU Hui, LI Jiu-hai, WU Dan

(School of Environmental Science and Engineering, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: A home-made combustion and sampling apparatus was used to burn green leaves under flaming and smoldering conditions and to collect the smoke generated. The smoke was measured with Organic/Elemental Carbon (OC/EC) Analyzer using IMPROVE thermal-optical reflectance (TOR) method, to investigate the mass fractions and the distribution of OC, EC and eight carbon fractions in foliar smoke. The results showed that in smoldering condition, the mean OC, EC mass fractions of ten foliar smokes were 48.9% and 4.5%, respectively. The mean mass fraction of char-EC (EC1 - POC) was 4.4%. The average emission factors (EF) of particulate matters, OC and EC in smoldering foliar smoke were 102.4 g·kg⁻¹, 50.0 g·kg⁻¹ and 4.7 g·kg⁻¹, respectively. The mean ratios of OC/EC, OC1/OC2 and char-EC/soot-EC (EC1 - POC/EC2 + EC3) in this condition were 11.5, 1.9 and 48.1, respectively. For the foliar smoke emitted in flaming condition, the mean mass fractions of OC, EC and char-EC were 44.9%, 10.9% and 10.7%, respectively. The average EF of PM, OC and EC in flaming smoke were 59.2 g·kg⁻¹, 26.6 g·kg⁻¹ and 6.0 g·kg⁻¹. And the three ratios mentioned above in this condition were 4.8, 1.1 and 133.0, respectively. In conclusion, foliar smoke had higher OC1 mass fractions and OC1/OC2 values in smoldering condition. While flaming foliar smoke had higher char-EC mass fractions and char-EC/soot-EC values. The compositions of OC, EC in foliar smoke varied between different tree species and different combustion conditions. The composition was also obviously different from those of other biomass smoke.

Key words: green leaf; smoke; OC; EC; carbon fractions

无论在城市或农村, 碳气溶胶作为大气气溶胶的重要组成部分, 对人体健康、能见度、水体质量和全球气候变化均有着重要影响^[1-4]. 森林火灾作为碳气溶胶的重要来源之一^[5], 近年来受到越来越多学者的关注. 森林生物质与化石燃料、农作废弃物、草原等其他来源在燃料构成上的不同, 使得其产生烟尘中的 OC、EC 组成呈现出一些源特性^[2,6-8]. 研究表明, 森林生物质的燃烧烟尘中的有机物质量分数较高, 且总碳中有机碳的质量分数显著高于元素碳^[9-12]. 燃烧条件的影响则体现为阴燃对 PM 及 OC 的释放均有促进作用^[4,11,13]. Alves 等^[12]对地中海地区灌木林的燃烧烟尘进行的研究

中, PM_{2.5}上的 OC 的质量分数为 50% ± 8%, OC/EC 高达 88 ± 46. 树叶是森林生物质的主要组成部分之一, 也是最容易着火和传播火势的单元^[14], 且树叶与木质部分在化学组成上的差异也决定了其烟尘的 OC、EC 组成有一定源特性^[15]. Schmidl 等^[15]将不同于树叶混合燃烧, 其中 OC 在烟尘中的质量分数 (61.4%) 明显高于木材燃烧^[10,16,17]. Hays 等^[18]对

收稿日期: 2014-09-23; 修订日期: 2014-10-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(41073019); 江苏省自然科学基金项目(BK20130998)

作者简介: 陈惠雨(1989~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为大气污染与防治工程, E-mail: 420938906@qq.com

* 通讯联系人, E-mail: liugang650104@sina.com

多种树叶及残渣进行的模拟燃烧实验中, EC 的质量分数极低 (EC/TC 为 1% ~ 5%), $\text{PM}_{2.5}$ 、OC 的排放因子分别为 $10.8 \sim 33.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $8.0 \sim 27.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 显著高于草原火灾、木材燃烧及其他生物质燃料在燃炉中的燃烧^[19]。Chuang 等^[20]在对泰国森林火灾的研究中, 进一步研究了 TOR 测定方法中各温度对应的碳组分。结果显示, char-EC 与典型生物质燃烧示踪物 NO_3^- 有很高的相关性 ($R^2 = 0.72$), char-EC/soot-EC 值为 9.4 ± 3.8 , 显著高于燃煤和汽车尾气中的比值 (< 2.0)^[21]。这些参数均呈现出生物质燃烧源的排放特性, 但现阶段还缺少对于不同生物质燃烧源的相应研究。珠三角的研究表明^[22], 生物质排放作为碳气溶胶的重要来源之一, 由于缺少精细化的源谱信息, 源解析尚不能对生物排放的碳气溶胶进行准确定量。同时考虑到森林火灾从燃料结构到燃烧环境的复杂性, 为有效地区分不同燃烧源, 还需要结合更多新的示踪物质或参数进行分析比较。本研究就此切入, 对 10 种树种的绿叶进行了阴燃、明燃实验, 考察各树种在不同燃烧条件下排放烟尘中 OC、EC 的质量分数及排放因子, 并分析了 TOR 方法下 8 种碳组分的质量分数。实验所得结果不仅有助于阐明特定类型生物质燃烧对气溶胶的成分的贡献, 还能为源解析模型提供更具有代表性的数据。

1 材料与方法

1.1 树叶采集及预处理

于 2013 年 8 ~ 9 月在南京采集刺槐、榉树、构树、广玉兰、柳树、栎树、麻栎、梧桐、雪松、香樟 10 种树种的绿叶。树叶用塑料袋装好后带回实验室, 带有尘垢的树叶须用清水洗净。部分样品剪碎后在 105°C 烘干至恒重, 由失重计算含水率; 将燃烧样品中较大的树叶剪至约 $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ 的片状以便点燃。

1.2 燃烧实验与烟尘采集

利用自制的不锈钢采样系统 (图 1) 对 10 种绿叶分别进行模拟燃烧实验。其中注入冷水的收集罩夹层和浸没在水槽中 U 型的管道对产生的烟尘起冷却作用, 使其接近常温。每个样品燃烧前充分通风以排除背景的影响。将适量燃烧样品置于铁板上用电炉加热, 加热开始即启动真空泵 (流量为 $4 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$), 以大气分级采样器采样。做好各接口处的密封工作, 产生的烟气不经稀释尽量全部采集。明燃时变压器电压设为 250 V , 预热 5 min 后再放样;

阴燃时电压设置为 175 V , 保证有火芯无火焰。每次采样从开始加热到燃尽 (无可见烟气产生)。每种树叶明燃、阴燃各采集 3 个平行样品。

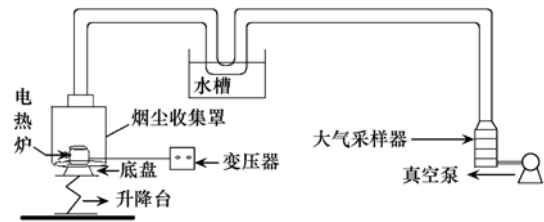


图 1 颗粒物采样系统结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of PM sampling system

以玻璃纤维滤膜采集烟尘。采样滤膜在使用前于 500°C 灼烧 2 h , 冷却后置于干燥器中平衡 24 h 再称量使用。采样后的滤膜同样在干燥器中平衡 24 h 后再称重。样品用铝箔 (在 500°C 灼烧 2 h) 包裹后, 立即放入冰箱中冷冻保存。此外, 进行了 3 次空白样的采集, 由于本实验空白样的 OC、EC 测量值与烟尘样品相比甚微, 可以忽略本底的影响。

1.3 OC、EC 测定

OC、EC 用 Model 2001A 热光有机碳/元素碳分析仪 (DRI 美国) 进行测定。先在纯氢气环境下按 ($150^\circ\text{C} \rightarrow 300^\circ\text{C} \rightarrow 450^\circ\text{C} \rightarrow 550^\circ\text{C}$) 升温加热, 再通入含 2% 氧气的氢气, 按 ($600^\circ\text{C} \rightarrow 800^\circ\text{C} \rightarrow 900^\circ\text{C}$) 继续加热, 使样品中的元素碳氧化成 CO_2 。 CO_2 转化为甲烷后, 用 FID 检测。在测定过程中用 633 nm 的激光全程照射样品, 监测升温过程中反射光强度的变化。以初始光强作为参照, 确定 OC 和 EC 的分离点。一个样品测试完毕后, 其 OC 定义为 $\text{OC1} + \text{OC2} + \text{OC3} + \text{OC4} + \text{POC}$; EC 定义为 $\text{EC1} + \text{EC2} + \text{EC3} - \text{POC}$ 。根据采样滤膜总面积计算烟尘中 OC、EC 的质量分数。

每个树种阴燃、明燃各取两张膜, 每张膜打两个孔进样分析, 两个平行样的相对误差不应超过 10%。另外, 对 10% 的样品要重复分析, 同一样品前后两次分析结果的相对误差应小于 10%。否则, 重新分析所代表数目的样品。

2 结果与讨论

2.1 OC、EC 在烟尘中的质量分数及排放因子

OC、EC 在烟尘中的质量分数常被作为区分不同气溶胶燃烧来源的指标。表 1 显示, 阴燃条件下绿叶烟尘 OC 的质量分数在树种间的差异不大, 均值为 48.9%, EC 质量分数均值为 4.5%, 其中刺槐最低 (3.4%), 麻栎最高 (6.7%)。10 种绿叶在此条件下, PM 和 OC 均取得了较高的排放因子, 均值分

别为 102.4 g·kg⁻¹和 50.0 g·kg⁻¹,而 EC 的排放因子相对较低,均值为 4.7 g·kg⁻¹. 梧桐在此条件下三者的排放因子均较小,其中 PM 和 OC 的释放量最低,麻栎的 PM 及 EC 排放因子最高而香樟的 OC 释放量在此条件下最高. 值得注意的是,10 种树叶里

除了麻栎,常绿乔木(雪松、榿树、广玉兰及香樟)三者的排放因子均大于落叶乔木. 4 种常绿乔木的 PM、OC 及 EC 的排放因子均值分别为 121.5、59.8 和 5.6 g·kg⁻¹,相比之下 6 种落叶乔木三者的排放因子分别为 89.8、43.5 和 4.2 g·kg⁻¹.

表 1 树叶烟尘中 OC、EC 的质量分数及排放因子¹⁾

Table 1 Mass fractions and emission factors of OC, EC in the foliar smoke									
燃烧方式	树种	含水率 /%	质量分数/%				排放因子/g·kg ⁻¹		
			OC	EC	char-EC	soot-EC	PM	OC	EC
阴燃	刺槐	53.66	46.2±3.0	3.4±0.2	3.3±0.2	0.10±0.03	80.8±6.7	37.2±0.6	2.8±0.4
	榿树	61.43	47.5±0.7	4.4±2.3	4.2±2.3	0.11±0.01	124.8±4.3	59.2±1.2	5.5±3.1
	构树	42.35	48.4±2.2	4.8±0.2	5.0±0.3	0.08±0.05	86.2±4.4	41.7±0.2	4.1±0.0
	广玉兰	56.21	49.6±0.5	4.6±0.2	4.6±0.3	0.08±0.01	122.2±1.4	60.7±0.1	5.6±0.1
	柳树	57.20	52.5±3.0	4.2±0.2	4.0±0.2	0.11±0.04	85.2±2.5	44.7±1.2	3.5±0.3
	栎树	33.10	48.4±1.1	3.5±0.0	3.0±0.7	0.08±0.03	82.4±0.2	39.9±0.8	2.9±0.0
	麻栎	54.21	46.0±0.5	6.7±0.0	6.6±0.0	0.10±0.03	130.8±0.6	60.2±0.3	8.7±0.0
	梧桐	68.20	50.9±0.7	4.0±0.1	3.8±0.1	0.15±0.03	73.1±3.8	37.2±2.5	2.9±0.1
	雪松	54.96	48.2±0.0	5.1±0.6	5.0±0.6	0.10±0.02	118.1±3.4	56.9±1.7	6.0±0.9
	香樟	55.20	51.5±0.5	4.5±0.1	4.4±0.1	0.09±0.03	120.8±2.5	62.2±1.8	5.4±0.2
阴燃均值			48.9±2.2	4.5±0.9	4.4±1.0	0.1±0.0	102.4±22.5	50.0±10.7	4.7±1.9
明燃	刺槐	53.66	48.4±10.8	6.4±0.4	6.4±0.4	0.13±0.01	60.8±13.9	28.7±0.2	3.9±0.6
	榿树	61.43	47.8±0.7	9.3±0.2	9.1±0.0	0.16±0.01	36.4±6.5	17.4±3.4	3.4±0.7
	构树	42.35	50.1±2.1	8.0±0.1	8.0±0.0	0.07±0.06	63.8±15.0	31.8±6.2	5.1±1.2
	广玉兰	56.21	38.1±6.7	24.7±5.1	23.9±5.1	0.16±0.05	26.9±6.6	10.4±4.3	6.6±3.0
	柳树	57.20	44.5±1.5	6.9±0.2	6.8±0.1	0.07±0.01	67.5±5.1	30.0±1.3	4.6±0.3
	栎树	33.10	43.5±1.9	12.1±3.5	12.6±3.4	0.07±0.05	46.3±13.9	20.2±6.9	5.6±0.2
	麻栎	54.21	40.1±0.5	13.7±1.0	13.8±1.0	0.08±0.02	71.6±22.2	28.7±8.6	9.8±2.3
	梧桐	68.20	48.4±3.2	8.0±0.7	8.0±0.6	0.05±0.04	86.7±3.0	41.9±1.4	7.0±0.8
	雪松	54.96	43.6±11.9	9.2±2.6	7.7±2.4	0.13±0.05	42.0±4.7	18.1±2.9	3.9±0.6
	香樟	55.20	44.3±6.6	10.8±2.7	11.2±2.7	0.09±0.03	89.9±28.0	38.9±6.5	9.7±0.7
明燃均值			44.9±3.8	10.9±5.4	10.7±5.2	0.1±0.1	59.2±21.0	26.6±10.0	6.0±2.3

1) 数据均表示为两个平行样的平均值±标准差的形式

明燃中绿叶烟尘的 OC 的质量分数均值为 44.9%,与阴燃时相似. EC 的质量分数均值为 10.9%,显著高于阴燃,其中 EC 质量分数最高的为广玉兰,比 EC 质量分数最低的刺槐高出 3 倍. 除梧桐外,明燃中 PM 和 OC 的排放因子均低于阴燃条件,均值分别为 59.2 g·kg⁻¹和 26.6 g·kg⁻¹,其中最低值均在广玉兰样品中取得. 香樟的 PM 排放因子最高而梧桐的 OC 排放因子最高. EC 的排放因子均值为 6.0 g·kg⁻¹,略高于阴燃中相应值. 除香樟外,常绿乔木的 PM、OC 排放因子(分别为 48.8 g·kg⁻¹和 21.2 g·kg⁻¹)普遍低于落叶乔木(66.1 g·kg⁻¹和 30.2 g·kg⁻¹),表现出与阴燃时相反的趋势.

对比两种燃烧条件可以看出,阴燃促进绿叶燃烧的 PM 及 OC 的释放而明燃条件促进 EC 的释放,这与文献[23~25]对森林野火、园林废弃物等燃烧烟尘的研究所得结论相吻合^[2]. Vicente 等^[26]对葡萄牙大火产生的烟尘的研究中,PM_{2.5}及 PM_{2.5-10}上

的 OC/PM 值分别为 51%±22%和 24%±18%. Schmidl 等^[15]对混合干树叶烟尘的研究中 OC 和 EC 的质量分数分别为 61.4%和 6.40%,二者都与本实验有较好的一致性. Hays 等^[18]的研究中,不同绿叶烟尘的 PM、OC、EC 的排放因子分别在 11.2~33.5、8.0~27.8 和 0.2~1.3 g·kg⁻¹范围内,Andreae 等^[19]对各种生物质燃料的 PM、OC 排放因子进行了总结,其变换范围分别为 2.1~19.4 g·kg⁻¹和 1.8~10.7 g·kg⁻¹. 本研究的排放因子比这些结果要高出很多,主要原因是本实验对烟尘的采集几乎没有稀释过程,从而避免了大部分半挥发性物质向气态的转移^[12].

2.2 8 种碳成分及 char-EC、soot-EC 的质量分数及分布

经完善的 TOR 方法根据不同的温度范围将碳定义为 8 个组分,即 OC1~OC4、POC、EC1~EC3,其中 EC 可进一步分为 char-EC 和 soot-

EC^[21,27~29]. 对这些详细组分的质量分数分布以及特征比值的讨论有助于细粒子气溶胶的来源解析, Zhu 等^[27]就由此成功地区分开了柴油和汽油燃烧产生的烟尘.

本研究中绿叶烟尘中 OC 各组分的质量分数呈现出 $OC1 > OC2 > OC3 > POC > OC4$ 的普遍规律, 这与 Chuang 等^[20]对森林大火的研究结果差别较大 ($OC3 > OC4 > OC2 > POC > OC1$), 主要原因是烟气在周边大气中的稀释扩散会导致低温易分解的 OC1 迅速挥发, 质量分数骤减. EC 部分则呈现出一致规律 ($EC1 - POC > EC2 > EC3$), 其中 char-EC 的质量分数明显高于 soot-EC. 对比图 2 中的两种燃烧条件, 10 种绿叶烟尘中 OC1 的质量分数的阴燃均值为 27.9%, 显著高于明燃均值 (18.8%), OC2、OC3、OC4 和 POC 的质量分数在阴、明燃间接近. EC1 和 char-EC 的质量分数的明燃均值分别为 12.3% 和 10.7%, 明显高于阴燃相应值 (5.33% 和 4.4%), 绿叶烟尘 EC2、EC3 及 soot-EC 的质量分数在阴、明燃间无明显差异. 绿叶烟尘中各碳组分在 TC 中的相对丰度由大到小依次为 $OC1 > OC2 > EC1 > OC3 > POC > EC2 > EC3$ (图 3), 阴、明燃间的差异同样体现在 OC1 及 EC1 的相对丰度上, 其中阴燃时 OC1 相对丰度为 51.4%, 明显高于明燃时的 33.0%, 而明燃时 EC1 相对丰度为 21.5%, 显著高于阴燃时的 9.8%.

前人对不同燃烧来源的相关研究指出, 生物质燃烧主要释放 OC1 ~ OC3 及 POC, 尤其是较高的 OC1 质量分数是它的主要特征之一, 本研究结果与其基本相符. 燃煤烟尘中的主导成分为 OC2 ~ OC4 及 POC, 汽油燃烧为 OC3、OC4, 而柴油燃烧源的烟尘有较高的 EC1 质量分数^[28].

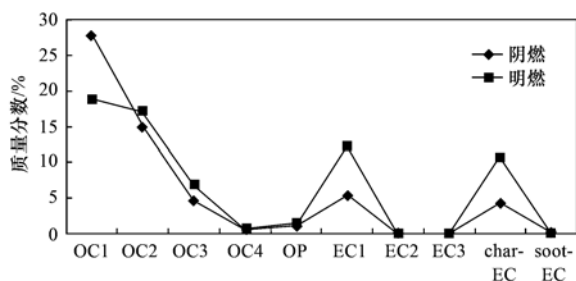


图 2 树叶烟尘中 OC、EC 各组分的质量分数

Fig. 2 Mass fractions of PM carbonaceous fractions in the foliar smoke

2.3 OC/EC、char-EC/soot-EC 及 OC1/OC2

OC/EC 及 char-EC/soot-EC 值在不同燃烧物质及条件下体现出较为明显的差异, 目前已有部分研

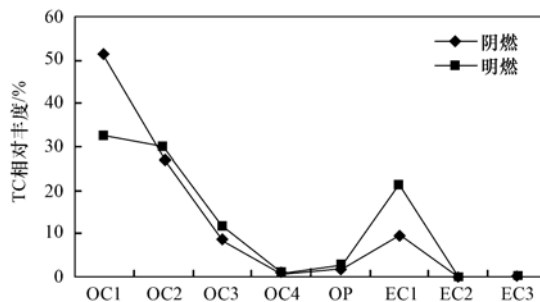


图 3 树叶烟尘中各碳组分在 TC 中的相对丰度

Fig. 3 Percentage contributions of carbon fractions to the total carbon in the foliar smoke

究利用这些特征比值来区分不同的燃烧源^[20,27~29]. 表 2 列出了 10 种绿叶在阴、明燃条件下产生烟尘的 OC/EC、char-EC/soot-EC 及 OC1/OC2 值, 这些比值在树种及不同燃烧条件之间均呈现出一定差异. 阴燃条件下, 绿叶烟尘中的 OC/EC、OC1/OC2 和 char-EC/soot-EC 均值分别为 11.5、1.9 和 48.1, 其中栎树烟尘的 OC/EC、OC1/OC2 值最大, 分别为 13.8 和 2.6, OC/EC 值为相应比值最低的麻栎 (6.9) 的两倍. 该条件下, char-EC/soot-EC 的最大值 (73.1) 与最小值 (27.0) 分别在构树和梧桐烟尘上取得.

明燃条件下 10 种绿叶烟尘的 OC/EC 及 OC1/OC2 值均低于阴燃条件, 均值分别为 4.8 和 1.1, 其中 OC/EC 的最高值 (7.4) 在刺槐烟尘上取得, 比广玉兰上取得的最低值 (1.6) 高近 4 倍. char-EC/soot-EC 值呈现出相反的规律, 明燃时该比值的均值 (133.0) 为阴燃时的两倍多. 树种间的差异也较为明显, 取得最高值 (245.8) 的梧桐烟尘比取得最低值 (49.5) 的刺槐高出近 4 倍.

本研究中绿叶烟尘取得的 OC/EC 值与非生物来源有显著的差异, 如燃煤烟尘的 OC/EC 均值为 2.7, 而机动车尾气排放为 1.1^[25]. 对比森林火灾的相关研究, 中国南部阔叶灌木林燃烧烟尘中, 阔叶树和灌木林对应的 OC/EC 值分别为 3.2 ~ 18.7 和 7.32 ~ 10.5^[31], 与本实验接近. 许多对森林野火的研究由于燃料结构的复杂性以及采样过程受到气象条件等不可控因素的影响, 取得的 OC/EC 值的变化范围很大 (5 ~ 713)^[13]. 这些高 OC 含量主要来源于大分子烃类的冷凝, 类异戊二烯类的促进释放, 反应中的酸催化作用以及低挥发性有机蒸气的迅速氧化^[12]. 本实验绿叶烟尘取得的高 char-EC/soot-EC 比值明显符合生物质燃烧源的规律. 据报道, 生物质燃烧源的 char-EC/soot-EC 值可高达 20.0, 而燃煤

表 2 不同类型生物质燃烧烟尘之间特征比值的比较

Table 2 Comparison of selected compound ratios among smoke from burning of different types of biomass									
地点	燃料种类	粒径	OC/EC ⁽¹⁾		OC1/OC2 ⁽¹⁾		char-EC/soot-EC ⁽¹⁾		文献
实验室	刺槐	PM	13.5 ± 1.7	7.4 ± 1.2	1.4 ± 0.0	0.9 ± 0.1	35.0 ± 13.2	49.5 ± 8.9	本研究
	榿树		12.8 ± 7.0	5.2 ± 0.0	1.8 ± 0.0	1.2 ± 0.2	38.5 ± 17.0	55.5 ± 3.3	
	构树		10.2 ± 0.0	6.2 ± 0.2	1.4 ± 0.1	1.1 ± 0.1	73.1 ± 45.7	158.3 ± 125.0	
	广玉兰		10.9 ± 0.2	1.6 ± 0.1	2.5 ± 0.1	1.2 ± 0.0	59.6 ± 9.8	156.4 ± 75.6	
	柳树		12.7 ± 1.3	6.4 ± 0.1	1.9 ± 0.1	1.0 ± 0.0	42.5 ± 20.2	92.4 ± 6.5	
	栎树		13.8 ± 0.2	3.6 ± 1.1	2.6 ± 0.4	1.4 ± 0.3	38.2 ± 6.7	204.8 ± 95.9	
	麻栎		6.9 ± 0.0	2.9 ± 0.2	1.9 ± 0.0	1.0 ± 0.1	68.6 ± 14.4	177.8 ± 33.6	
	梧桐		12.8 ± 0.5	6.1 ± 0.9	1.8 ± 0.7	1.3 ± 0.0	27.0 ± 6.3	245.8 ± 200.1	
	雪松		9.5 ± 1.1	4.6 ± 0.0	1.8 ± 0.0	1.0 ± 0.1	48.2 ± 4.0	61.2 ± 7.1	
	香樟		11.5 ± 0.0	4.0 ± 0.4	2.0 ± 0.0	1.2 ± 0.4	50.4 ± 17.1	128.4 ± 68.3	
	均值		11.5 ± 2.2	4.8 ± 1.8	1.9 ± 0.4	1.1 ± 0.2	48.1 ± 15.0	133.0 ± 67.4	
露天	干树叶混合	PM ₁₀	OC/EC = 7.5 ± 3.0, TC/PM = 0.67						[15]
露天	葡萄牙森林火灾	PM _{2.5}	OC/EC 为 2.5 ~ 205, OC/PM = 51% ± 12%						[26]
		PM _{2.5 ~ 10}	OC/EC 为 1.7 ~ 328, OC/PM = 32% ± 15%						
露天	地中海灌木林	PM ₁₀	OC/EC = 93 ± 23, OC/PM = 44% ± 5%						[12]
露天	生物质燃料	PM _{2.5}	OC/EC = 5.7 ± 0.6, char-EC/soot-EC = 9.4 ± 3.8						[20]
		PM _{2.5 ~ 10}	OC/EC = 10.7 ± 7.2, char-EC/soot-EC 为 0.7 ~ 13.7						
	高速公路隧道	PM _{2.5}	OC/EC = 1.26, OC1/OC2 = 1.3, char-EC/soot-EC = 20.0						[27]
燃炉	木材	PM ₁₀	OC/EC 为 0.9 ~ 4.4						[30]
实验室	绿叶及残渣	PM _{2.5}	OC/EC 为 15.2 ~ 69.5						[18]

1) 左列数据为绿叶阴燃烟尘上的特征比值,右列为明燃烟尘上的特征比值

及机动车排放的相应值小于 2.0^[20,32]. 对比两燃烧条件可进一步看出,明燃促进了树叶烟尘中 char-EC 的释放,而对 soot-EC 几乎没有影响. 综合已有的相关研究,高 char-EC 含量跟生物质燃烧、燃煤来源,车胎损耗,低稀释度,颗粒物上的金属催化作用以及低 POC 含量均有一定关系^[30,32~35]. 本研究中的 char-EC/soot-EC 值远高于其他关于生物质燃烧的文献,低稀释度可能为一个重要的影响因素^[20,29]. 然而针对生物质燃烧源的相关研究非常有限,各个因素如燃料种类、燃烧条件对烟尘中碳组分的质量分数分布以及特征比值的影响机制还有待进一步的研究.

3 结论

(1)阴燃促进 OC、PM 释放而明燃促进 EC 释放. 阴、明燃绿叶烟尘上的 OC 质量分数相近,而明燃烟尘的 EC 质量分数明显高于阴燃,其中 EC 质量分数的最高值在麻栎明燃时取得. 除了梧桐树叶烟尘,阴燃时 PM 及 OC 排放因子较高,而 EC 的排放因子则在明燃时更高. 其中麻栎阴燃的 PM 排放因子最高,明燃的 EC 排放因子最高. OC 排放因子最高的样品为香樟的阴燃.

(2)对于绿叶烟尘,OC 中各组分按在烟尘中的

质量分数排序为 OC1 > OC2 > OC3 > POC > OC4, EC 中为 EC1 - POC > EC2 > EC3. 阴燃时绿叶烟尘的 OC1 质量分数及 OC1/TC 值均显著高于明燃,而明燃条件下有较高的 char-EC 质量分数及 EC1/TC 值.

(3)对 10 种绿叶而言,阴燃时绿叶烟尘上的 OC/EC 及 OC1/OC2 值均显著高于明燃. 其中广玉兰在阴燃时取得 OC/EC 最高值. 而明燃时绿叶烟尘上的 char-EC/soot-EC 值要普遍高于阴燃.

参考文献:

[1] Jia Y L, Clements A L, Fraser M P. Saccharide composition in atmospheric particulate matter in the southwest US and estimates of source contributions[J]. Journal of Aerosol Science, 2010, **41** (1): 62-73.

[2] Zhang Y S, Shao M, Lin Y, et al. Emission inventory of carbonaceous pollutants from biomass burning in the Pearl River Delta Region, China[J]. Atmospheric Environment, 2013, **76**: 189-199.

[3] Wang G H, Chen C L, Li J J, et al. Molecular composition and size distribution of sugars, sugar-alcohols and carboxylic acids in airborne particles during a severe urban haze event caused by wheat straw burning[J]. Atmospheric Environment, 2011, **45** (15): 2473-2479.

[4] Zhang Y Y, Obrist D, Zielinska B, et al. Particulate emissions from different types of biomass burning [J]. Atmospheric Environment, 2013, **72**: 27-35.

- [5] Ward T J, Hamilton Jr R F, Dixon R W, *et al.* Characterization and evaluation of smoke tracers in PM: Results from the 2003 Montana wildfire season[J]. *Atmospheric Environment*, 2006, **40**(36): 7005-7017.
- [6] Gaeggeler K, Prevot A S H, Dommen J, *et al.* Residential wood burning in an Alpine valley as a source for oxygenated volatile organic compounds, hydrocarbons and organic acids [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(35): 8278-8287.
- [7] Oros D R, Simoneit B R T. Identification and emission factors of molecular tracers in organic aerosols from biomass burning Part 2. Deciduous trees [J]. *Applied Geochemistry*, 2001, **16**(13): 1545-1565.
- [8] Sheesley R J, Schauer J J, Chowdhury Z, *et al.* Characterization of organic aerosols emitted from the combustion of biomass indigenous to South Asia[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984-2012), 2003, **108**(D9), doi: 10.1029/2002JD002981.
- [9] Oros D R, Simoneit B R T. Identification and emission factors of molecular tracers in organic aerosols from biomass burning Part 1. Temperate climate conifers [J]. *Applied Geochemistry*, 2001, **16**(13): 1513-1544.
- [10] Gonçalves C, Alves C, Fernandes A P, *et al.* Organic compounds in PM_{2.5} emitted from fireplace and woodstove combustion of typical Portuguese wood species[J]. *Atmospheric Environment*, 2011, **45**(27): 4533-4545.
- [11] Vicente A, Alves C, Monteiro C, *et al.* Measurement of trace gases and organic compounds in the smoke plume from a wildfire in Penedono (central Portugal) [J]. *Atmospheric Environment*, 2011, **45**(29): 5172-5182.
- [12] Alves C A, Gonçalves C, Pio C A, *et al.* Smoke emissions from biomass burning in a Mediterranean shrubland [J]. *Atmospheric Environment*, 2010, **44**(25): 3024-3033.
- [13] Alves C A, Vicente A, Monteiro C, *et al.* Emission of trace gases and organic components in smoke particles from a wildfire in a mixed-evergreen forest in Portugal [J]. *Science of the Total Environment*, 2011, **409**(8): 1466-1475.
- [14] Ormeno E, Cespedes B, Sanchez I A, *et al.* The relationship between terpenes and flammability of leaf litter [J]. *Forest Ecology and Management*, 2009, **257**(2): 471-482.
- [15] Schmidl C, Bauer H, Dattler A, *et al.* Chemical characterisation of particle emissions from burning leaves [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(40): 9070-9079.
- [16] Schmidl C, Marr I L, Caseiro A, *et al.* Chemical characterisation of fine particle emissions from wood stove combustion of common woods growing in mid-European Alpine regions [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(1): 126-141.
- [17] Fine P M, Cass G R, Simoneit B R T. Chemical characterization of fine particle emissions from the fireplace combustion of wood types grown in the Midwestern and Western United States [J]. *Environmental Engineering Science*, 2004, **21**(3): 387-409.
- [18] Hays M D, Geron C D, Linna K J, *et al.* Speciation of gas-phase and fine particle emissions from burning of foliar fuels [J]. *Environmental Science & Technology*, 2002, **36**(11): 2281-2295.
- [19] Andreae M O, Merlet P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2001, **15**(4): 955-966.
- [20] Chuang M T, Chou C C K, Sopajaree K, *et al.* Characterization of aerosol chemical properties from near-source biomass burning in the northern Indochina during 7-SEAS/Dongsha experiment [J]. *Atmospheric Environment*, 2013, **78**: 72-81.
- [21] Chen L W A, Moosmüller H, Arnott W P, *et al.* Emissions from laboratory combustion of wildland fuels: Emission factors and source profiles [J]. *Environmental Science & Technology*, 2007, **41**(12): 4317-4325.
- [22] Duan J C, Tan J H, Cheng D X, *et al.* Sources and characteristics of carbonaceous aerosol in two largest cities in Pearl River Delta Region, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**: 2895-2903.
- [23] Saarnio K, Aurela M, Timonen H, *et al.* Chemical composition of fine particles in fresh smoke plumes from boreal wild-land fires in Europe [J]. *Science of the Total Environment*, 2010, **408**(12): 2527-2542.
- [24] Saarikoski S, Mäkelä T, Hillamo R, *et al.* Physico-chemical characterization and mass closure of size-segregated atmospheric aerosols in Hyytiälä, Finland [J]. *Boreal Environment Research*, 2005, **10**(5): 385-400.
- [25] Gonçalves C, Evtyugina M, Alves C, *et al.* Organic particulate emissions from field burning of garden and agriculture residues [J]. *Atmospheric Research*, 2011, **101**(3): 666-680.
- [26] Vicente A, Alves C, Monteiro C, *et al.* Organic speciation of aerosols from wildfires in central Portugal during summer 2009 [J]. *Atmospheric Environment*, 2012, **57**: 186-196.
- [27] Zhu C S, Chen C C, Cao J J, *et al.* Characterization of carbon fractions for atmospheric fine particles and nanoparticles in a highway tunnel [J]. *Atmospheric Environment*, 2010, **44**(23): 2668-2673.
- [28] Li X X, Shen Z X, Cao J J, *et al.* Distribution of carbonaceous aerosol during Spring 2005 over the Horqin Sandland in northeastern China [J]. *China Particology*, 2006, **4**(6): 316-322.
- [29] Zhu C S, Cao J J, Tsai C J, *et al.* Comparison and implications of PM_{2.5} carbon fractions in different environments [J]. *Science of the Total Environment*, 2014, **466-467**: 203-209.
- [30] Gonçalves C, Alves C, Evtyugina M, *et al.* Characterisation of PM₁₀ emissions from woodstove combustion of common woods grown in Portugal [J]. *Atmospheric Environment*, 2010, **44**(35): 4474-4480.
- [31] Wang Z Z, Bi X H, Sheng G Y, *et al.* Characterization of organic compounds and molecular tracers from biomass burning smoke in South China I: Broad-leaf trees and shrubs [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(19): 3096-3102.
- [32] Chow J C, Watson J G, Kuhns H, *et al.* Source profiles for

- industrial, mobile, and area sources in the big bend regional aerosol visibility and observational (BRAVO) study [J]. *Chemosphere*, 2004, **54**(2): 185-208.
- [33] Han Y M, Lee S C, Cao J J, *et al.* Spatial distribution and seasonal variation of char-EC and soot-EC in the atmosphere over China[J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(38): 6066-6073.
- [34] Aatmeeyata, Sharma M. Polycyclic aromatic hydrocarbons, elemental and organic carbon emissions from tire-wear [J]. *Science of the Total Environment*, 2010, **408**(20): 4563-4568.
- [35] Jiménez R, García X, López T, *et al.* Catalytic combustion of soot Effects of added alkali metals on CaO-MgO physical mixtures [J]. *Fuel Processing Technology*, 2008, **89**(11): 1160-1168.

欢迎订阅 2015 年《环境科学》

《环境科学》创刊于 1976 年,由中国科学院主管,中国科学院生态环境研究中心主办,是我国环境科学学科中最早创刊的学术性期刊。

《环境科学》自创刊以来,始终坚持“防治污染,改善生态,促进发展,造福人民”的宗旨,报道我国环境科学领域内具有创新性高水平,有重要意义的基础研究和应用研究成果,以及反映控制污染,清洁生产和生态环境建设等可持续发展的战略思想、理论和实用技术等。

《环境科学》在国内外公开发行,并在国内外科技界有较大影响,被国内外一些重要检索系统收录,如美国医学索引 MEDLINE;美国化学文摘 CA;俄罗斯文摘杂志 AJ;美国生物学文摘预评 BP;美国医学索引 IM;日本科学技术情报中心数据库 JICST;英国动物学记录 ZR;剑桥科学文摘(CSA):Environmental Sciences;剑桥科学文摘(CSA):Pollution Abstracts;剑桥科学文摘(CAS):Life Sciences Abstracts 等;国内的检索系统有中国科技论文统计与引文数据库(CSTPCD);中文科技期刊数据库(维普);中国期刊全文数据库(CNKI);数字化期刊全文数据库(万方);中国科学引文数据库(CSCD);中国生物学文摘等。

全国各地邮局均可订阅,如有漏订的读者可直接与编辑部联系,办理补订手续。

《环境科学》2015 年为大 16 开本,120 元/册,全年 12 期。

国内统一刊号:CN11-1895/X 国际标准刊号:ISSN 0250-3301

国外发行代号:M 205 国内邮发代号:2-821

编辑部地址:北京市海淀区双清路 18 号(2871 信箱) 邮编:100085

电话:010-62941102;传真:010-62849343;E-mail:hjcx@rcees.ac.cn;网址:www.hjcx.ac.cn

CONTENTS

Simulation and Influencing Factors of Spatial Distribution of PM _{2.5} Concentrations in Chongqing	WU Jian-sheng, LIAO Xing, PENG Jian, <i>et al.</i> (759)
Correlation, Seasonal and Temporal Variation of Water-soluble Ions of PM _{2.5} in Beijing During 2012-2013	YANG Dong-yan, LIU Bao-xian, ZHANG Da-wei, <i>et al.</i> (768)
Characteristics and Sources Apportionment of OC and EC in PM _{1.1} from Nanjing	JIANG Wen-juan, GUO Zhao-bing, LIU Feng-ling, <i>et al.</i> (774)
Composition and Variation Characteristics of Atmospheric Carbonaceous Species in PM _{2.5} in Taiyuan, China	ZHANG Gui-xiang, YAN Yu-long, GUO Li-li, <i>et al.</i> (780)
Characteristics of Organic Carbon and Elemental Carbon in PM _{2.5} in Shouzhou City	LIU Feng-xian, PENG Lin, BAI Hui-ling, <i>et al.</i> (787)
Satellite Retrieval of a Heavy Pollution Process in January 2013 in China	XUE Wen-bo, WU Wei-ling, FU Fei, <i>et al.</i> (794)
Meteorological Mechanism for the Formation of a Serious Pollution Case in Beijing in the Background of Northerly Flow at Upper Levels	LIAO Xiao-nong, SUN Zhao-bin, TANG Yi-xi, <i>et al.</i> (801)
Concentrations and Deposition Fluxes of Different Mercury Species in Precipitation in Jinyun Mountain, Chongqing	QIN Cai-qing, WANG Yong-min, PENG Yu-long, <i>et al.</i> (809)
Variation Characteristics of Total Gaseous Mercury at Wuzhi Mountain (Wuzhishan) Background Station in Hainan	LEI Yu-tao, LIU Ming, CHEN Lai-guo, <i>et al.</i> (817)
Organic and Element Carbon in Foliar Smoke	CHEN Hui-yu, LIU Gang, XU Hui, <i>et al.</i> (824)
Analysis of Characteristics and Products of Chlorobenzene Degradation with Dielectric Barrier Discharge	JIANG Li-ying, CAO Shu-ling, ZHU Run-ye, <i>et al.</i> (831)
Distribution, Sources and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Surface Sediments of Yangtze Estuary and Zhejiang Coastal Areas	MU Qing-lin, FANG Jie, SHAO Jun-bo, <i>et al.</i> (839)
Adsorption Characteristics of Typical PPCPs onto River Sediments and Its Influencing Factors	WANG Kai, LI Kan-zhu, ZHOU Yi-yuan, <i>et al.</i> (847)
Contamination and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Sediment in Karst Underground River	LAN Jia-cheng, SUN Yu-chuan, SHI Yang, <i>et al.</i> (855)
Contamination Characteristics and Source Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Multimedium in Karst Underground River	LU Li, WANG Zhe, PEI Jian-guo (862)
Characteristics of Absorption and Fluorescence Spectra of Dissolved Organic Matter from Confluence of Rivers; Case Study of Qujiang River-Jialing River and Fujiang River-Jialing River	YAN Jin-long, JIANG Tao, GAO Jie, <i>et al.</i> (869)
Ultraviolet-Visible (UV-Vis) and Fluorescence Spectral Characteristics of Soil Dissolved Organic Matter (DOM) in Typical Agricultural Watershed of Three Gorges Reservoir Region	WANG Qi-lei, JIANG Tao, ZHAO Zheng, <i>et al.</i> (879)
Absorption and Fluorescence Characteristics of Dissolved Organic Matter (DOM) in Rainwater and Sources Analysis in Summer and Winter Season	LIANG Jian, JIANG Tao, WEI Shi-qiang, <i>et al.</i> (888)
Composition of NOM in Raw Water of Danjiangkou Reservoir of South-to-North Water Diversion Project and Comparison of Efficacy of Enhanced Coagulation	CHENG Tuo, XU Bin, ZHU He-zhen, <i>et al.</i> (898)
Denitrification in Water of Daliao River Estuary in Summer and the Effect of Environmental Factors	YANG Li-biao, LEI Kun, MENG Wei (905)
Sources of Dissolved Organic Carbon and the Bioavailability of Dissolved Carbohydrates in the Tributaries of Lake Taihu	YE Lin-lin, WU Xiao-dong, KONG Fan-xiang, <i>et al.</i> (914)
Canonical Correspondence Analysis of Summer Phytoplankton Community and Its Environmental Factors in Hanfeng Lake	WANG Yu-fei, ZHAO Xiu-lan, HE Bing-hui, <i>et al.</i> (922)
Temporal Variation of Trophic Status in Drawdown Area of Hanfeng Lake in the Storage Period of Three Gorges Reservoir in China	HUANG Qi, HE Bing-hui, ZHAO Xiu-lan, <i>et al.</i> (928)
Spatial Distribution Pattern and Stock Estimation of Nutrients During Bloom Season in Lake Taihu	JIN Ying-wei, ZHU Guang-wei, XU Hai, <i>et al.</i> (936)
Phytoplankton Community Structure and Eutrophication Risk Assessment of Beiji River	GOU Ting, MA Qian-li, XU Zhen-cheng, <i>et al.</i> (946)
Synergistic Effect of Physical and <i>Chironomus plumosus</i> Combined Disturbance on Regeneration and Transformation of Internal Phosphorus	SHI Xiao-dan, LI Da-peng, WANG Ren, <i>et al.</i> (955)
Effect of Light and Temperature on Growth Kinetics of <i>Anabaena flosaquae</i> Under Phosphorus Limitation	YIN Zhi-kun, LI Zhe, WANG Sheng, <i>et al.</i> (963)
Purification of the Wastewater of Quartz Processing by Mineral-based Porous Granulation Material	WANG En-wen, LEI Shao-min, ZHANG Shi-chun, <i>et al.</i> (969)
Enhanced Reductive Decoloration of Methylene Blue by Polyacrylic Acid Modified Zero-valent Iron Nanoparticles	HE Jing, WANG Xiang-yu, WANG Pei, <i>et al.</i> (980)
Decolorization of Reactive Blue P-3R with Microsphere-supported Binuclear Manganese Complex as a Novel Heterogeneous CWPO Catalyst	SONG Min, ZHANG Lin-ping, ZHONG Yi, <i>et al.</i> (989)
Biosynthetic Schwertmannite as Catalyst in Fenton-like Reactions for Degradation of Methyl Orange	WANG Kuai-bing, FANG Di, XU Zhi-hui, <i>et al.</i> (995)
Enhanced Nitrogen and Phosphorus Removal of Wastewater by Using Sludge Anaerobic Fermentation Liquid as Carbon Source in a Pilot-scale System	LUO Zhe, ZHOU Guang-jie, LIU Hong-bo, <i>et al.</i> (1000)
Transformation Characteristics of Carbon, Nitrogen, Phosphorus and Sulfur During Thermal Hydrolysis Pretreatment of Sludge with High Solid Content	ZHUO Yang, HAN Yun, CHENG Yao, <i>et al.</i> (1006)
Characteristics of Nitrogen and Phosphorus Removal and Control of Membrane Fouling in MBR and SMBR	GUO Xiao-ma, ZHAO Yan, WANG Kai-yan, <i>et al.</i> (1013)
Influence of Substrate COD on Methane Production in Single-chambered Microbial Electrolysis Cell	TENG Wen-kai, LIU Guang-li, LUO Hai-ping, <i>et al.</i> (1021)
Ion Specificity During Ion Exchange Equilibrium in Natural Clinoptilolite	HE Yun-hua, LI Hang, LIU Xin-min, <i>et al.</i> (1027)
Assessment of Heavy Metal Pollution and Potential Ecological Risks of Urban Soils in Kaifeng City, China	LI Yi-meng, MA Jian-hua, LIU De-xin, <i>et al.</i> (1037)
Effects of Different Cultivation Patterns on Soil Aggregates and Organic Carbon Fractions	QIU Xiao-lei, ZONG Liang-gang, LIU Yi-fan, <i>et al.</i> (1045)
Effects of Chinese Prickly Ash Orchard on Soil Organic Carbon Mineralization and Labile Organic Carbon in Karst Rocky Desertification Region of Guizhou Province	ZHANG Wen-juan, LIAO Hong-kai, LONG Jian, <i>et al.</i> (1053)
Rare Earth Elements Content in Farmland Soils and Crops of the Surrounding Copper Mining and Smelting Plant in Jiangxi Province and Evaluation of Its Ecological Risk	JIN Shu-lan, HUANG Yi-zong, WANG Fei, <i>et al.</i> (1060)
Combined Toxicity of Cadmium and S-metolachlor to <i>Scenedesmus obliquus</i>	ZHANG Xiao-qiang, HU Xiao-na, CHEN Cai-dong, <i>et al.</i> (1069)
Effect of Degradation Succession Process on the Temperature Sensitivity of Ecosystem Respiration in Alpine <i>Potentilla fruticosa</i> Scrub Meadow	LI Dong, LUO Xu-peng, CAO Guang-min, <i>et al.</i> (1075)
Ecological Stoichiometric Characteristics in Leaf and Litter Under Different Vegetation Types of Zhifanggou Watershed on the Loess Plateau, China	LI Xin, ZENG Quan-chao, AN Shao-shan, <i>et al.</i> (1084)
Denitration Mechanism of Monoclinic-phase Nano Zirconium Oxide-based Catalysts	YE Fei, LIU Rong, GUAN Hao, <i>et al.</i> (1092)
Characterization of Phosphorus Forms in Different Organic Materials	DENG Jia, HU Meng-kun, ZHAO Xiu-lan, <i>et al.</i> (1098)
Comparative Life Cycle Environmental Assessment Between Electric Taxi and Gasoline Taxi in Beijing	SHI Xiao-qing, SUN Zhao-xin, LI Xiao-nuo, <i>et al.</i> (1105)
Characteristics of Water Soluble Inorganic Ions in Fine Particles Emitted from Coal-Fired Power Plants	DUAN Lei, MA Zi-zhen, LI Zhen, <i>et al.</i> (1117)
Underlying Mechanisms of the Heavy Metal Tolerance of Mycorrhizal Fungi	CHEN Bao-dong, SUN Yu-qing, ZHANG Xin, <i>et al.</i> (1123)
Research Progress on Microbial Properties of Nitrite-Dependent Anaerobic Methane-Oxidising Bacteria	SHEN Li-dong (1133)

《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)

2015年3月15日 第36卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 3 Mar. 15, 2015

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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行