

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第11期

Vol.34 No.11

**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

北京不同污染事件期间气溶胶光学特性 ..... 施禅臻, 于兴娜, 周斌, 项磊, 聂皓浩 (4139)

秋季渤海、北黄海大气气溶胶中水溶性离子组成特性与来源分析 ..... 张岩, 张洪海, 杨桂朋 (4146)

中国北部湾地区夏季大气碳气溶胶的空间分布特征 ..... 杨毅红, 陶俊, 高健, 李雄, 施展, 韩保新, 谢文彰, 曹军骥 (4152)

改进的大气 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、CO 在线观测 FTIR 系统 ..... 夏玲君, 刘立新, 周凌晔, 方双喜, 王红阳, 张振波 (4159)

长沙市郊大气 CH<sub>4</sub> 浓度变化特征 ..... 刘鲁宁, 王迎红, 徐小娟, 王卫东, 王跃思 (4165)

麦草及其烟尘中正构烷烃的组成 ..... 刘刚, 李久海, 徐慧, 吴丹 (4171)

过二硫酸盐降解碱液吸收的甲硫醇恶臭 ..... 杨世迎, 王雷雷, 冯琳玉, 赵腊娟, 石超 (4178)

污泥堆肥及其土地利用全过程的温室气体与氨气排放特征 ..... 钟佳, 魏源送, 赵振凤, 应梅娟, 周国胜, 熊建军, 刘培财, 葛振, 丁刚强 (4186)

长江口滨岸及近海水体中胶体的分布和理化性质研究 ..... 顾丽军, 杨毅, 刘敏, 聂明华, 李涛, 侯立军 (4195)

海河流域主要河口区域沉积物中重金属空间分异及生态风险评价 ..... 吕书丛, 张洪, 单保庆, 李立青 (4204)

汾河流域太原段河水及沉积物中 PFOS 和 PFOA 的浓度分布特征 ..... 东口朋宽, 史江红, 张晖, 刘晓薇 (4211)

基于 L-THIA 模型的市桥河流域非点源氮磷负荷分析 ..... 李凯, 曾凡棠, 房怀阳, 林澍 (4218)

合流制排水系统雨天溢流污染 CMB 法源解析 ..... 戴梅红, 李田, 张伟 (4226)

微藻脂肪酸在中国近海缺氧海水-沉积物界面中的降解模拟研究 ..... 随伟伟, 丁海兵, 杨桂朋, 陆小兰, 李文娟, 孙立群 (4231)

太湖两种水生植物群落对沉积物中氮素的影响 ..... 马久远, 王国祥, 李振国, 许宽, 周锋, 张佳 (4240)

表面流人工湿地中硫丹的去除规律研究 ..... 秦晶, 高甫威, 谢慧君 (4251)

带菌盐藻对不同形态砷的富集和转化研究 ..... 王亚, 张春华, 王淑, 申连玉, 葛滢 (4257)

镧改性沸石活性覆盖控制重污染河道底泥溶解性磷酸盐和铵释放研究 ..... 李佳, 林建伟, 詹艳慧 (4266)

底栖动物扰动对河床渗透性的影响研究 ..... 任朝亮, 宋进喜, 杨小刚, 薛健 (4275)

铜绿微囊藻胞内物消毒副产物生成: 氯化化和溴化比较 ..... 田川, 郭婷婷, 刘锐平, William Jefferson, 刘会娟, 曲久辉 (4282)

天然有机物对混凝效果影响机制及絮体特性分析 ..... 徐磊, 俞文正, 梁亮, 王彤 (4290)

DOM 纳滤膜污染及对膜截留卡马西平性能的影响 ..... 丰桂珍, 董秉直 (4295)

零价铁去除废水中的汞 ..... 周欣, 张进忠, 邱昕凯, 王定勇 (4304)

Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 稳定化纳米 Pd/Fe 对水中 2,4-D 的催化还原脱氯研究 ..... 周红艺, 梁思, 雷思思, 雷双健 (4311)

不同粒径粉末活性炭对水中天然有机物吸附性能的比较研究 ..... 李政剑, 石宝友, 王东升 (4319)

氯化十六烷基吡啶改性活性炭对水中硝酸盐的吸附作用 ..... 郑雯婧, 林建伟, 詹艳慧, 方巧, 杨孟娟, 王虹 (4325)

改性石墨烯对水中亚甲基蓝的吸附性能研究 ..... 吴艳, 罗汉金, 王侯, 张子龙, 王灿, 王雨微 (4333)

经典等温吸附模型在重金属离子/硅藻土体系中的应用及存在问题 ..... 朱健, 吴庆定, 王平, 李科林, 雷明婧, 张伟丽 (4341)

硝酸盐对矿化垃圾中兼/厌氧甲烷氧化的影响 ..... 刘妍妍, 龙焰, 尹华, 叶锦韶, 何宝燕, 张娜 (4349)

硫酸盐/氨的厌氧生物转化试验研究 ..... 张丽, 黄勇, 袁怡, 李祥, 刘福鑫 (4356)

硫酸盐还原-氨氧化反应的特性研究 ..... 袁怡, 黄勇, 李祥, 张春蕾, 张丽, 潘杨, 刘福鑫 (4362)

UASB 系统低 pH 运行时对产氢性能的分析 ..... 赵健慧, 张百惠, 李宁, 王兵, 李永峰 (4370)

响应面法优化赤泥负载 Co 催化剂制备及活性评价 ..... 李华楠, 徐冰冰, 齐飞, 孙德智 (4376)

高浓度氨氮胁迫对纤细裸藻的毒性效应 ..... 刘炎, 石小荣, 崔益斌, 李梅 (4386)

NAPLs 污染物垂向指流迁移分形表征中图像处理的影响研究 ..... 李慧颖, 杜晓明, 杨宾, 伍斌, 徐竹, 史怡, 房吉敦, 李发生 (4392)

近 50 年浙江省耕作土壤有机质和酸碱度的变化特征 ..... 章明奎, 常跃畅 (4399)

浙中典型富硒土壤区土壤硒含量的影响因素探讨 ..... 黄春雷, 宋明义, 魏迎春 (4405)

黄河口新生湿地土壤 Fe 和 Mn 元素的空间分布特征 ..... 孙文广, 甘卓亭, 孙志高, 李丽丽, 孙景宽, 孙万龙, 牟晓杰, 王玲玲 (4411)

崇明岛土壤中 MCCPs 的污染水平、组成与来源研究 ..... 孙阳昭, 王学彤, 张媛, 孙延枫, 李梅, 马中 (4420)

福建戴云山脉土壤有机氯农药残留及空间分布特征 ..... 瞿程凯, 祁士华, 张莉, 黄焕芳, 张家泉, 张原, 杨丹, 刘红霞, 陈伟 (4427)

电子垃圾拆解地周边土壤中二噁英和二噁英类多氯联苯的浓度水平 ..... 邵科, 尹文华, 朱国华, 巩宏平, 周欣, 王玲, 刘劲松 (4434)

外源水溶性氟在茶园土壤中赋存形态的转化及其生物有效性 ..... 蔡荟梅, 彭传燧, 陈静, 侯如燕, 宛晓春 (4440)

丛枝菌根真菌在不同类型煤矸石山植被恢复中的作用 ..... 赵仁鑫, 郭伟, 付瑞英, 赵文静, 郭江源, 毕娜, 张君 (4447)

丛枝菌根真菌在矿区生态环境修复中应用及其作用效果 ..... 李少朋, 毕银丽, 孔维平, 王瑾, 余海洋 (4455)

超积累植物垂序商陆 (*Phytolacca americana* L.) 吸收锰机制的初步探讨 ..... 徐向华, 李仁英, 刘翠英, 施积炎, 林佳 (4460)

*Shewanella oneidensis* MR-1 对硫化汞的生物利用性研究 ..... 陈艳, 王卉, 司友斌 (4466)

基于我国西南地区儿童行为模式的 IEUBK 模型本地化研究 ..... 蒋宝, 崔晓勇 (4473)

不同结构有机磷在(氢)氧化铝表面的吸附与解吸特征 ..... 柳飞, 张延一, 严玉鹏, 刘凡, 谭文峰, 刘名茗, 冯雄汉 (4482)

煤中铁元素赋存状态的超声逐级化学提取研究 ..... 熊金钰, 李寒旭, 董众兵, 张颂, 钱宁波, 武成利 (4490)

植物对纳米颗粒的吸收、转运及毒性效应 ..... 杨新萍, 赵方杰 (4495)

《环境科学》征订启事 (4239)      《环境科学》征稿简则 (4369)      信息 (4225, 4265, 4303, 4375)

# 麦草及其烟尘中正构烷烃的组成

刘刚, 李久海, 徐慧, 吴丹

(南京信息工程大学环境科学与工程学院, 南京 210044)

**摘要:** 在明火和闷烧条件下对6种麦草进行焚烧试验, 用GC/MS测定了秸秆和烟尘中正构烷烃的组成。结果表明, 从麦秆和烟尘中检出的正构烷烃主要是  $C_{16} \sim C_{33}$ 。麦秆中正构烷烃的总含量变化范围是  $19.6 \sim 62.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 平均值为  $36.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。低碳数(碳数  $< C_{23}$ )正构烷烃仅占总含量的  $1.4\% \sim 31.6\%$ 。 $C_{27}/C_{29}$ 值分布于  $20.2\% \sim 47.4\%$ 之间, 平均值为  $33.7\%$ ;  $C_{31}/C_{29}$ 值分布于  $22.9\% \sim 48.1\%$ 之间, 平均值为  $32.7\%$ 。明火烟尘中正构烷烃总含量的变化区间为  $764.2 \sim 5304.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 平均值为  $2854.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。低碳数正构烷烃在总含量中的占比为  $2.0\% \sim 19.4\%$ , 平均值为  $7.1\%$ 。 $C_{27}/C_{29}$ 值的变化区间是  $10.0\% \sim 31.6\%$ , 平均值为  $20.2\%$ ;  $C_{31}/C_{29}$ 比值的分布范围是  $47.1\% \sim 98.9\%$ , 平均值为  $71.2\%$ 。闷烧烟尘中正构烷烃总含量为  $5126 \sim 15898 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 平均值为  $9220.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。低碳数正构烷烃含量与总含量之比为  $1.9\% \sim 13.0\%$ , 平均值为  $5.5\%$ 。 $C_{27}/C_{29}$ 的分布范围是  $8.6\% \sim 23.0\%$ , 平均值为  $13.8\%$ ;  $C_{31}/C_{29}$ 的变化区间是  $42.5\% \sim 90.2\%$ , 平均值为  $62.2\%$ 。麦草和烟尘中的正构烷烃均呈单峰式分布, 其主峰碳数为  $C_{29}$ 。其高碳数(碳数  $\geq C_{22}$ )正构烷烃均具有明显的奇碳数优势。麦草碳优势指数(CPI)的变化区间是  $4.0 \sim 33.6$ , 平均值为  $19.2$ ;  $C_{17} \sim C_{33}$ 正构烷烃的平均碳链长度(ACL)的波动区间是  $25.2 \sim 29.0$ , 平均值为  $28.0$ 。明火烟尘的CPI处于  $4.4 \sim 27.1$ 之间, 平均值为  $12.4$ ; ACL值变化范围是  $27.6 \sim 29.4$ , 平均值为  $28.8$ 。闷烧烟尘的CPI值分布于  $5.5 \sim 29.6$ 之间, 平均为  $18.0$ ; ACL值在  $28.0 \sim 29.5$ 之间变动, 其平均值为  $28.9$ 。在麦秆与其烟尘之间, 正构烷烃在化学组成上有明显的差别。这有助于识别大气颗粒物中麦草燃烧来源的此类污染物。

**关键词:** 麦草; 燃烧; 烟尘; 正构烷烃; CPI; ACL

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)11-4171-07

## Chemical Composition of *n*-Alkanes in Wheat Straw and Smoke

LIU Gang, LI Jiu-hai, XU Hui, WU Dan

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

**Abstract:** Straw of six wheat species was burned under flaming and smoldering conditions. Chemical compositions of *n*-alkanes in the straw and its smoke were measured with GC/MS. The results showed, the main compounds in all samples were  $C_{16}$  to  $C_{33}$ , and the total amounts of *n*-alkanes in the straw were between  $19.6$  and  $62.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , with a mean value of  $36.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Moreover, the ratios of the contents of *n*-alkanes with low carbon number ( $< C_{23}$ ) to the total *n*-alkanes varied from  $1.4\%$  to  $31.6\%$ . The  $C_{27}/C_{29}$  values in straws ranged from  $20.2\%$  to  $47.4\%$  with an average of  $33.7\%$ , and the  $C_{31}/C_{29}$  values ranged from  $22.9\%$  to  $48.1\%$  with a mean value of  $32.7\%$ . In the flaming smoke, the total contents were  $764.2$  to  $5304.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , with a mean value of  $2854.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . And the contribution of the compounds with low carbon number to the total contents was  $2.0\%$  to  $19.4\%$ , the mean of which was  $7.1\%$ . Furthermore, the  $C_{27}/C_{29}$  ratios changed from  $10.0\%$  to  $31.6\%$  with an average of  $20.2\%$ , and the  $C_{31}/C_{29}$  values ranged from  $47.1\%$  to  $98.9\%$  with a mean of  $71.2\%$ . In the smoldering smoke, the total contents were in the range of  $5126$  to  $15898 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , and the mean value was  $9220.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . The ratios of the content of *n*-alkanes with low carbon number to the total *n*-alkanes varied from  $1.9\%$  to  $13.0\%$ , and the average value was  $5.5\%$ . In addition, the  $C_{27}/C_{29}$  values ranged from  $8.6\%$  to  $23.0\%$  with a mean of  $13.8\%$ , and  $C_{31}/C_{29}$  ratios varied from  $42.5\%$  to  $90.2\%$  with an average of  $62.2\%$ . In both the straw and the smoke, *n*-alkanes showed unimodal distribution with a peak at  $C_{29}$ . The compounds with high carbon number ( $> C_{21}$ ) in all samples had evident odd to even carbon number predominance. The carbon predominance index (CPI) for the straw ranged from  $4.0$  to  $33.6$  with a mean value of  $19.2$ , and the corresponding average carbon chain length (ACL) varied from  $25.2$  to  $29.0$  with a mean of  $28.0$ . The CPI for flaming smoke was between  $4.4$  and  $27.1$  with a mean value of  $12.4$ , and the corresponding ACL varied from  $27.6$  to  $29.4$  with an average value of  $28.8$ . The CPI values for smoldering smoke ranged from  $5.5$  to  $29.6$  with a mean of  $18.0$ , and the ACL was from  $28.0$  to  $29.5$  with an average value of  $28.9$ . In short, there were visible differentiations among the chemical compositions of *n*-alkanes in wheat straw and its smoke, which are helpful for identifying the organic contaminants in ambient aerosol from wheat straw burning.

**Key words:** wheat straw; burn; smoke; *n*-alkane; CPI; ACL

作物秸秆露天焚烧现象在全球范围内普遍存在, 尤其在发展中国家<sup>[1~5]</sup>。秸秆在燃烧过程中会向大气中排放大量的烟尘, 已成为大气颗粒物不可忽视的来源<sup>[6~11]</sup>。正构烷烃是秸秆烟尘的常见组

收稿日期: 2013-03-02; 修订日期: 2013-04-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(41073019)

作者简介: 刘刚(1965~), 男, 教授, 主要研究方向为大气污染化学,  
E-mail: liugang650104@sina.com

分<sup>[12~16]</sup>. 大气颗粒物中的正构烷烃有多种来源. 除了作物秸秆燃烧,煤和石油等化石燃料燃烧、植物风化产物、微生物等都是其主要来源<sup>[17~20]</sup>. 此外,森林火灾和木柴燃烧过程中也向大气中排放正构烷烃<sup>[21~23]</sup>. 大气中植物、微生物和化石燃料燃烧来源的正构烷烃各自具有独特的化学组成和分布模式<sup>[17,18,20]</sup>,据此可将它们进行区分. 在植物燃烧排放的烟尘中,正构烷烃的组成与原植物有一定差别. 这主要体现在烟尘中正构烷烃的奇偶碳数优势比原植物减小,低碳数正构烷烃的相对丰度有所增加等方面<sup>[24~26]</sup>. 但对于不同生物质在相同燃烧条件下排放的正构烷烃,在化学组成上是否有差别,仍然是一个有待探讨的问题. 在模拟的明火燃烧和闷烧条件下对我国 6 种小麦秸秆进行燃烧试验,比较了不同燃烧条件下所排放烟尘及原秸秆中,正构烷烃在化学组成上的异同点,以期为识别大气气溶胶中麦秸燃烧来源的正构烷烃提供参考.

## 1 材料与方 法

### 1.1 秸秆采集与制备

2010~2012 年,共采集了 6 个品种的小麦秸秆. 扬麦 10、扬麦 16、烟农 10 等采自江苏;矮抗 58、温六、西农 979 均采自河南.

在制备测定秸秆中正构烷烃用的样品时,取适量完整的麦秸,用剪刀剪至小段,用清水冲去表面的泥土. 将洁净的碎样在 50℃ 烘烤 12 h,用植物粉碎机粉碎至 60 目. 对于焚烧用的麦秆,在室内自然风干,临烧前拣去杂物,抖去灰尘.

### 1.2 燃烧试验与烟尘采集

模拟秸秆的两种田间焚烧方式,明火燃烧和闷烧,在一面积为 20 m<sup>2</sup> 的房间内进行燃烧试验. 在模拟明火燃烧时,取每种麦秸 0.5 kg,自然堆放在一张铁盘上点燃. 闷烧时取秸秆 0.2 kg,点燃使之发烟但不产生明火. 每种麦秸在两种燃烧条件下各焚烧一次.

用一台小流量大气颗粒物采样器 (Andersen, AH-200 型) 采集排放到室内空气中的烟尘. 采样器离火堆 2 m,距地面 1.2 m. 点燃秸秆后即开始采样,每个样持续采集 1 h. 采样期间保持门窗关闭,以减少烟尘向外扩散. 采样所用的玻璃纤维滤膜在使用前于 500℃ 灼烧 2 h,冷却后置于干燥器中在室温下平衡 24 h. 采样后的滤膜在室温下平衡 24 h 后再称重. 烟尘样品用铝箔 (在 500℃ 灼烧 2 h) 包裹,冷冻保存.

### 1.3 有机物提取与测定

称取麦秸粉末 4 g 或者取采集了烟尘的玻璃纤维滤膜 0.5~1 张,每次加入二氯甲烷/甲醇混合液 (2:1,体积比) 10 mL,于室温下超声振荡 15 min,共重复提取 3 次. 合并提取液,以 3 000 r·min<sup>-1</sup> 的转速离心 2 min,用旋转蒸发器在 40℃ 浓缩上清液至 3 mL,再用氮吹仪在 40℃ 吹至近干. 加入 2 mL 1 mol·L<sup>-1</sup> 的 KOH 甲醇/水溶液 (4:1,体积比) 和 1 mL 去离子水,在 60℃ 皂化 2 h. 先后用 3 mL 二氯甲烷提取皂化溶液内的中性组分各 3 次. 将提取液合并后用氮吹仪浓缩至 1 mL. 用氧化铝/硅胶柱分离中性组分. 该层析柱内径 10 mm,用正己烷依次装填了 6 cm 中性氧化铝 (100~200 目)、12 cm 硅胶 (100~200 目) 和 1 cm 无水硫酸钠. 装柱前,硅胶和氧化铝分别在 150℃、250℃ 活化 12 h 以上,再在室温下加入去离子水 (3%,质量比) 去活化,平衡 24 h. 无水硫酸钠在 500℃ 灼烧 2 h. 把浓缩液滴加到层析柱上,用 20 mL 正己烷洗脱烷烃. 将该馏分用旋转蒸发器和氮吹仪浓缩至近干,以正己烷定容至 500 μL.

用气质联用仪 (Agilent6890N/5975 GC-MS) 测定正构烷烃的含量. 色谱柱为 HP-5MS (30 m×0.25 mm×0.25 μm) 非极性石英毛细管色谱柱;载气流量 1 mL·min<sup>-1</sup>,汽化温度 300℃,进样量 1 μL (不分流);升温程序:初始温度 60℃,保持 2 min,以 6℃·min<sup>-1</sup> 升温至 300℃,保持 30 min. 以外标法定量.

在提取测定实际样品前,用正二十烷进行了加标回收率试验,其回收率为 70%~110%.

## 2 结果与讨论

### 2.1 麦草中正构烷烃的含量与分布

麦草中所含正构烷烃单体主要为 C<sub>16</sub>~C<sub>33</sub>,从扬麦 16 的秸秆中还检出了 C<sub>15</sub> 和 C<sub>34</sub> (表 1). 不同品种麦草中正构烷烃的总含量变化巨大. 扬麦 10 的总含量最低 (19.6 mg·kg<sup>-1</sup>),温六的总含量最高 (62.3 mg·kg<sup>-1</sup>),两者相差 2.2 倍. 麦秸中正构烷烃的平均总含量为 36.0 mg·kg<sup>-1</sup>. 对总含量的贡献主要来自高碳数 (碳数≥C<sub>23</sub>) 正构烷烃,低碳数 (碳数<C<sub>23</sub>) 正构烷烃仅占总含量的 1.4%~31.6%. 除了矮抗 58 秸秆之外,其余 5 种麦草中低碳数正构烷烃含量与总含量的平均比值为 3.4%. 在不同品种的麦草中,C<sub>27</sub>/C<sub>29</sub> 比值和 C<sub>31</sub>/C<sub>29</sub> 比值均表现出一定幅度的变化. C<sub>27</sub>/C<sub>29</sub> 值分布于 20.2%~47.4% 之间,平均为 33.7%; C<sub>31</sub>/C<sub>29</sub> 值分布于 22.9%~

表 1 麦草及其烟尘中正构烷烃含量和参数值<sup>1)</sup>

Table 1 Parameters and contents of individual *n*-alkanes in wheat straw and smoke

项目	烟农 10			矮抗 58			温六			西农 979			扬麦 10			扬麦 16		
	麦草	明火	闷烧															
C <sub>15</sub>						5.9												
C <sub>16</sub>	0.1		10.0			3.8			8.9						2.5	0.1	40.4	20.1
C <sub>17</sub>	0.2		22.5	0.1		5.6	0.1		8.9	0.1		4.0	0.1		8.2	0.1	40.5	27.0
C <sub>18</sub>	0.2	1.6	43.4	0.2		13.2	0.1	8.2	13.5	0.1	6.4	6.4	0.1	12.2	18.6	0.1	40.2	23.4
C <sub>19</sub>	0.2	3.6	91.2	0.7	4.6	34.1	0.1	9.8	13.7	0.2	9.4	13.2	0.1	12.1	30.1	0.1	42.3	25.2
C <sub>20</sub>	0.5	5.5	135.5	1.8	12.1	62.3	0.1	16.9	23.7	0.3	10.0	25.9	0.1	25.2	64.7	0.1	40.1	25.2
C <sub>21</sub>	0.4	9.5	166.5	2.9	20.5	102.6	0.2	28.9	39.1	0.3	18.5	53.6	0.1	48.6	85.1	0.1	29.9	59.1
C <sub>22</sub>	0.2	11.4	197.6	2.9	31.7	119.7	0.3	41.6	61.7	0.4	34.1	82.4		103.1	123.0	0.1	32.8	95.7
C <sub>23</sub>	0.7	11.9	188.0	2.7	35.7	96.8	0.7	45.1	72.0	0.4	34.9	87.8	0.1	106.8	126.0	0.2	34.4	122.6
C <sub>24</sub>	0.3	7.8	121.0	1.4	24.1	71.4	0.3	42.7	68.4	0.6	29.6	89.0	0.2	101.9	106.6	0.3	36.3	124.9
C <sub>25</sub>	1.9	13.9	144.0	2.0	34.7	83.3	1.5	38.9	53.5	1.3	25.2	78.2	0.5	79.9	63.3	0.3	34.8	96.0
C <sub>26</sub>	0.5	8.5	100.6	0.4	26.3	59.9	0.4	22.4	25.4	0.2	11.4	47.7	0.1	66.3	62.9	0.5	37.4	129.7
C <sub>27</sub>	6.9	49.4	330.2	2.7	187.3	348.5	12.9	336.2	382.0	8.3	122.9	638.2	2.7	289.0	317.6	2.6	139.8	1796.9
C <sub>28</sub>	0.8	55.8	131.9	0.3	34.5	90.3	0.8	60.0	57.6	0.6	35.1	136.4	0.2	294.9	124.5	0.7	51.4	219.4
C <sub>29</sub>	20.4	263.4	1573.2	7.0	1881.1	3327.6	33.9	2529.6	3492.9	17.5	582.1	7395.7	11.3	1793.6	3491.0	12.9	443.1	7825.2
C <sub>30</sub>	0.4	18.7	175.3	0.5	79.0	109.0	0.4	37.2	85.6	0.1	28.7	133.8	0.1	42.4	71.0	0.6	48.7	170.7
C <sub>31</sub>	7.4	260.5	1418.3	1.6	885.8	1413.5	9.9	1836.1	1978.9	5.2	431.0	4851.7	3.4	1357.9	2201.7	6.2	294.7	4328.9
C <sub>32</sub>			72.1			32.0		17.8	22.7			38.2		10.6		0.4	43.2	43.8
C <sub>33</sub>	0.4	42.7	204.7		125.3	213.6	0.6	208.3	216.8	0.4	38.8	462.1	0.4	285.7	265.3	1.2	74.3	542.1
C <sub>34</sub>																1.8		17.2
C <sub>35</sub>																		29.5
∑	41.5	764.2	5126.0	27.2	3382.7	6187.2	62.3	5304.1	6661.1	36.3	1429.7	14200.7	19.6	4696.2	7251.9	28.9	1548.3	15898.1
R/%	4.3	4.1	13.0	31.6	2.0	5.5	1.4	2.8	3.6	5.0	7.5	1.9	3.1	6.7	6.3	3.1	19.4	2.5
CPI <sub>1</sub>	12.8	6.0	4.2	2.6	15.3	10.0	25.0	20.6	17.3	15.5	8.2	23.9	20.8	6.3	11.5	8.0	3.2	16.7
CPI	18.0	6.7	5.5	4.0	17.5	13.0	29.0	27.1	23.3	23.8	11.1	29.6	33.6	7.4	16.3	6.8	4.4	20.3
ACL	28.3	29.1	28.0	25.2	29.3	28.8	28.6	29.4	29.2	28.1	28.6	29.5	28.7	28.8	28.9	29.0	27.6	29.1
C <sub>max</sub>	C <sub>29</sub>																	

1) 正构烷烃含量单位 (mg·kg<sup>-1</sup>); ∑ 为正构烷烃总含量; C<sub>max</sub> 为主峰碳数; R 为碳数 ≤ C<sub>22</sub> 的正构烷烃含量与正构烷烃总含量之百分比; CPI = 2(C<sub>23</sub> + C<sub>25</sub> + C<sub>27</sub> + ... + C<sub>33</sub>) / [(C<sub>22</sub> + C<sub>24</sub> + C<sub>26</sub> + ... + C<sub>32</sub>) + (C<sub>24</sub> + C<sub>26</sub> + ... + C<sub>34</sub>)]; CPI<sub>1</sub> = (C<sub>17</sub> + C<sub>19</sub> + ... + C<sub>33</sub>) / (C<sub>16</sub> + C<sub>18</sub> + ... + C<sub>32</sub>); ACL = (17C<sub>17</sub> + 18C<sub>18</sub> + ... + 33C<sub>33</sub>) / (C<sub>17</sub> + C<sub>18</sub> + ... + C<sub>33</sub>)

48.1%之间,平均为32.7%。

矮抗58麦草中不同碳数正构烷烃的单体含量呈现出双峰式的分布模式(图1)。其主峰碳数是 $C_{29}$ ,次峰碳数是 $C_{22}$ 。这种麦草中碳数小于 $C_{24}$ 的正构烷烃主要来自微生物<sup>[27]</sup>。除此之外,其他5种麦草中不同

碳数正构烷烃的含量均呈单峰式分布,其主峰碳数为 $C_{29}$ 。碳数 $\geq C_{22}$ 的正构烷烃具有明显的奇碳数优势,其碳优势指数(CPI)的变化区间是4.0~33.6,平均值为19.2。 $C_{17} \sim C_{33}$ 正构烷烃的平均碳链长度(ACL)的波动区间是25.2~29.0,平均值为28.0。

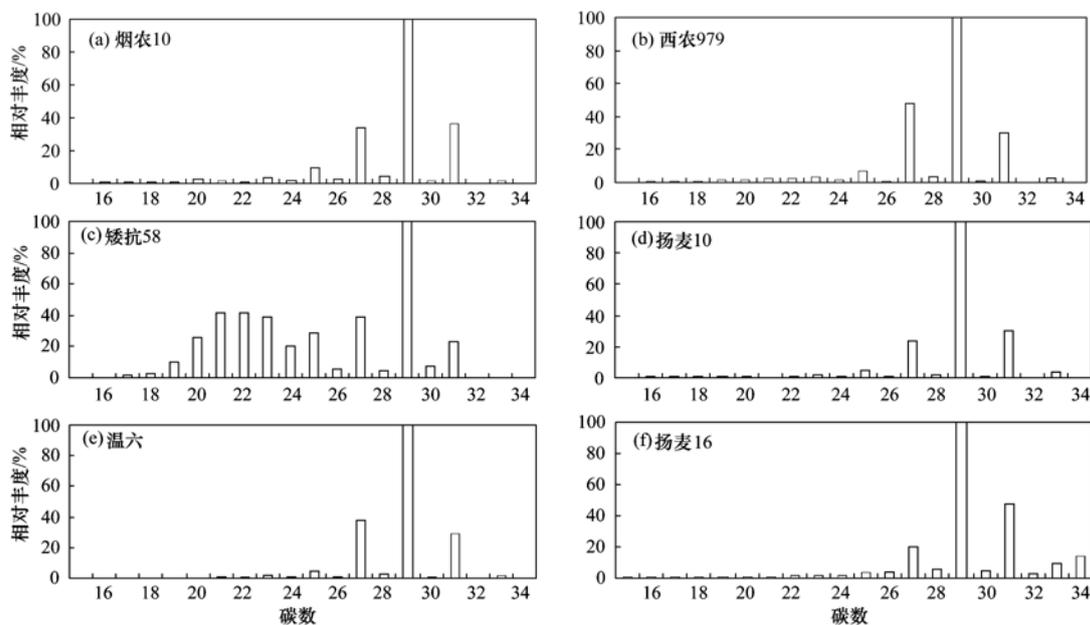


图1 麦草中正构烷烃的丰度分布

Fig. 1 Abundance distribution of *n*-alkanes in wheat straw

## 2.2 明火烟尘中正构烷烃的含量与分布

与麦草类似,在麦秸明火燃烧产生的烟尘中,正构烷烃主要为 $C_{17} \sim C_{33}$ 。这与已有研究结果一致<sup>[14]</sup>。烟尘中正构烷烃总含量的变化区间为764.2~5304.1  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,平均值为2854.2  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。低碳数正构烷烃在总含量中所占比例为2.0%~19.4%,平均值为7.1%,是麦秸对应值的2倍。在6种麦草的明火烟尘中,矮抗58的该比值小于麦草,烟农10的与对应秸秆基本相同,其他4种均明显大于相应的秸秆。表明在麦草明火燃烧过程中,除了植物蜡汽化的低碳数正构烷烃冷凝转变为烟尘外,又新生成了一部分低碳数正构烷烃。另外,明火烟尘中 $C_{27}/C_{29}$ 和 $C_{31}/C_{29}$ 比值

也发生了改变。 $C_{27}/C_{29}$ 值的分布区间是10.0%~31.6%,平均值为20.2%,仅相当于麦草相应值的0.6倍。在6种麦草的明火烟尘中,扬麦10和扬麦16的 $C_{27}/C_{29}$ 值比对应秸秆高7.7%和11.4%,其他4种比秸秆低15.1%~31.3%。与麦秸相比,大多数明火烟尘中的 $C_{27}/C_{29}$ 值具有减小的趋势(图2)。说明在明火燃烧过程中,更多的 $C_{27}$ 相对于 $C_{29}$ 而发生了热解反应,或者又形成了一部分 $C_{29}$ 。烟尘中 $C_{31}/C_{29}$ 比值普遍高于相应的小麦秸秆(图2)。其分布范围是47.1%~98.9%,平均值为71.2%。比麦草的 $C_{31}/C_{29}$ 平均比值大1.1倍。表明麦草在明火燃烧过程中 $C_{29}$ 比 $C_{31}$ 更易分解,或者生成了更多的 $C_{31}$ 。

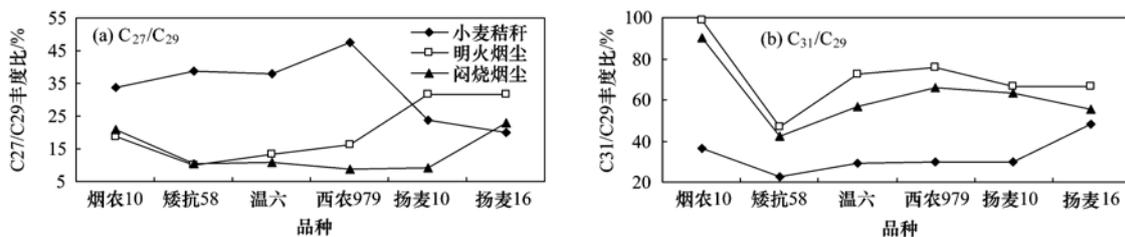


图2 麦草和烟尘中 $C_{27}/C_{29}$ 和 $C_{31}/C_{29}$ 丰度比的变化趋势

Fig. 2 Variation of  $C_{27}/C_{29}$  and  $C_{31}/C_{29}$  ratios in wheat straw and smoke

虽然  $C_{27}$  和  $C_{31}$  的相对含量发生了显著的变化, 但明火烟尘中不同碳数正构烷烃的含量分布依然表现为以  $C_{29}$  为主峰的单峰型(图 3)。值得注意的是, 西农 979 和扬麦 10 的明火烟尘在  $C_{22}$  处似乎是一个次碳峰, 但不十分明显。高碳数正构烷烃仍然具有非常明显的奇碳数优势。其 CPI 处于 4.4 ~ 27.1 之

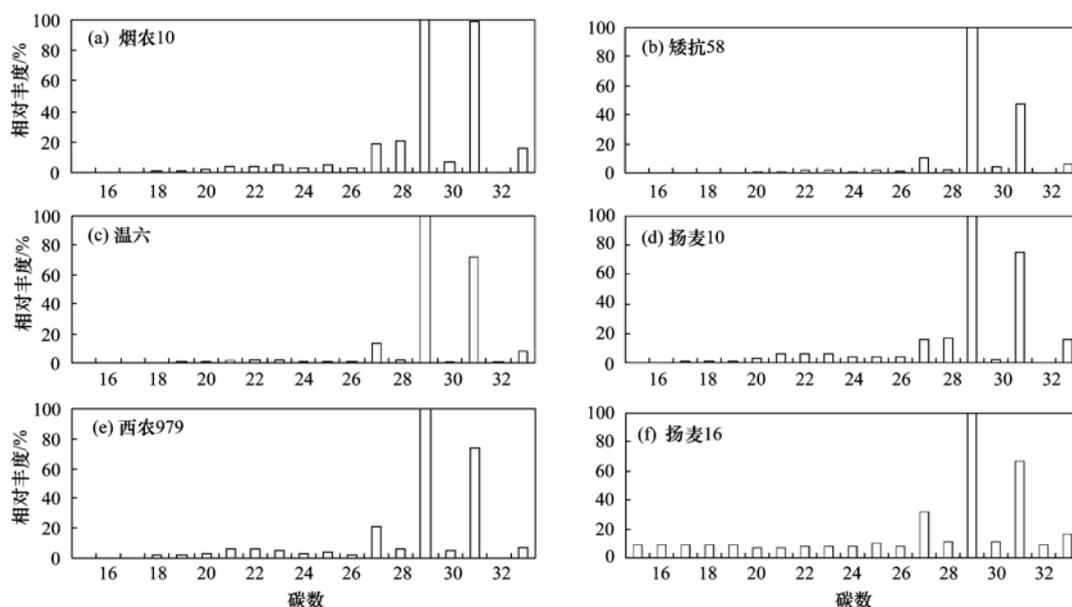


图 3 明火烟尘中正构烷烃的丰度分布

Fig. 3 Abundance distribution of *n*-alkane in flaming smoke

### 2.3 闷烧烟尘中正构烷烃的含量与分布

麦草闷烧烟尘中正构烷烃的碳数分布范围是  $C_{15} \sim C_{35}$ , 与秸秆和明火烟尘的基本相同。不同品种间正构烷烃的总含量为  $5\,126 \sim 15\,898 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 平均值为  $9\,220.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 是明火烟尘中平均含量的 3.2 倍。说明温度较低的闷烧条件比明火燃烧更有利于麦草蜡中烷烃的汽化。烟尘中低碳数正构烷烃含量与总含量之比为 1.9% ~ 13.0%, 平均值为 5.5%。该平均值比明火烟尘的小, 但比秸秆的要大。说明闷烧条件下仍然生成了一部分低碳数正构烷烃, 但产量低于明火燃烧。即燃烧温度较高的明火条件更有利于秸秆组分发生热解而生成低碳数正构烷烃。闷烧烟尘中  $C_{27}/C_{29}$  和  $C_{31}/C_{29}$  等两个比值与对应麦草和明火烟尘之间均有差别。闷烧烟尘中  $C_{27}/C_{29}$  的分布范围是 8.6% ~ 23.0%, 平均值为 13.8%;  $C_{31}/C_{29}$  的变化区间是 42.5% ~ 90.2%, 平均值为 62.2%。总体而言, 闷烧烟尘的  $C_{27}/C_{29}$  比值均小于麦草和明火烟尘,  $C_{31}/C_{29}$  比值小于明火烟尘但仍然大于秸秆。两类烟尘中  $C_{27}/C_{29}$  和  $C_{31}/C_{29}$  比值随麦秸品种的变化趋势几乎是完全一致的(图

间, 平均值为 12.4, 显著小于麦草的平均值。除了矮抗 58, 其他 5 种麦草明火烟尘的 CPI 都比对应秸秆有所减小。这反映麦秸在明火燃烧过程中有更多的奇碳数正构烷烃发生热解。正构烷烃的 ACL 值变化范围是 27.6 ~ 29.4, 平均值为 28.8, 比麦秸的 ACL 平均值有所增大。

2)。

在烟农 10 和矮抗 58 的闷烧烟尘中, 正构烷烃显露出双峰式分布的迹象。其主碳峰  $C_{29}$  十分明显, 但次碳峰  $C_{22}$  却比较低。除此以外, 在其他 4 种麦秸的闷烧烟尘中, 正构烷烃均表现出以  $C_{29}$  为主峰的单峰式分布模式(图 4)。高碳数正构烷烃具有明显的奇碳数优势。其 CPI 值分布于 5.5 ~ 29.6 之间, 平均为 18.0。此平均值明显大于明火烟尘, 但稍小于麦秸的相应值。表明与明火燃烧相比, 低温闷烧不利于秸秆蜡中高碳数正构烷烃发生热解。各品种麦草闷烧烟尘中正构烷烃的 ACL 值在 28.0 ~ 29.5 之间变动, 其平均值为 28.9。该值与明火烟尘的 ACL 平均值基本相等。

综上所述, 不论在闷烧条件下还是在明火燃烧条件下, 小麦秸秆烟尘中的正构烷烃基本上继承了麦草中原有的分布模式。即在低碳数区基本上没有碳峰出现, 总体表现出以  $C_{29}$  为主峰的单峰式分布特点。这与稻草、玉米秸秆、甘蔗、草、森林落叶等生物质明火燃烧排放烟尘的情形完全不同<sup>[12,13,24~26]</sup>。麦草烟尘中高碳数正构烷烃的 CPI 值远大于稻草、

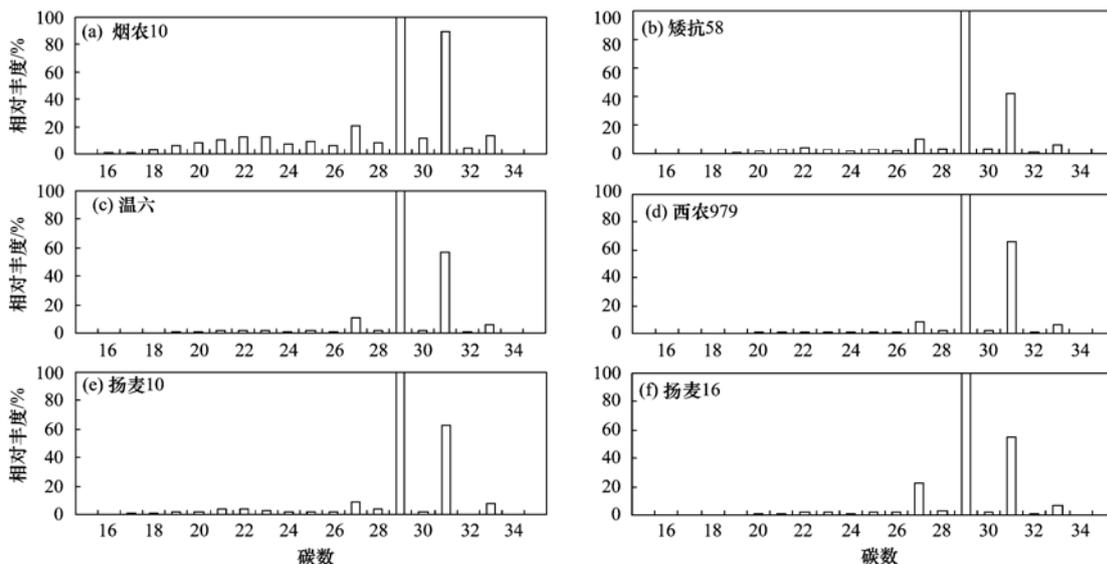


图4 闷烧烟尘中正构烷烃的丰度分布

Fig. 4 Abundance distribution of *n*-alkane in smoldering smoke

玉米秸秆、森林生物质等的烟尘<sup>[12,13,25]</sup>。表1也显示,麦秸烟尘中 $C_{16} \sim C_{33}$ 正构烷烃的碳优势指数也远远大于冻原草、蒲苇、竹子和甘蔗等植物烟尘的对应值<sup>[26]</sup>。根据含量分布模式和CPI值,可将大气颗粒物中麦草燃烧来源的正构烷烃与前述其他几种生物质燃烧来源的相区分。

### 3 结论

(1) 麦草明火烟尘和闷烧烟尘中正构烷烃的含量分布与对应麦草的类似,都呈以 $C_{29}$ 为主峰的单峰型。高碳数正构烷烃均具有明显的奇碳数优势,但明火烟尘的CPI比麦草大幅降低,闷烧烟尘的CPI也稍小于麦秸。闷烧烟尘中正构烷烃的ACL与明火烟尘基本相等;明火烟尘的ACL比麦秸有所增大。

(2) 明火烟尘中低碳数正构烷烃在总含量中所占比例比麦秸大幅提高。其 $C_{27}/C_{29}$ 比值比麦草明显降低,而 $C_{31}/C_{29}$ 值比麦草显著提高。闷烧烟尘中低碳数正构烷烃含量与总含量之比值比明火烟尘小,但仍然明显大于麦草。其 $C_{27}/C_{29}$ 比值显著小于麦草,而 $C_{31}/C_{29}$ 比值明显大于麦草。 $C_{27}/C_{29}$ 和 $C_{31}/C_{29}$ 比值可作为区别麦秸及其烟尘中正构烷烃的指标。总之,在麦秸及其燃烧排放烟尘之间,正构烷烃在化学组成上存在显著的差别。

#### 参考文献:

[1] Sahai S, Sharma C, Singh D P, *et al.* A study for development of emission factors for trace gases and carbonaceous particulate species from in situ burning of wheat straw in agricultural fields in

India[J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(39): 9173-9186.

[2] Hammappala R D, Claiborn C, Jimenez J, *et al.* Emission factors of PAHs, methoxyphenols, levoglucosan, elemental carbon and organic carbon from simulated wheat and Kentucky bluegrass stubble burns[J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(12): 2660-2669.

[3] Keshtkar H, Ashbaugh L L. Size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon particulate emission factors from agricultural burning[J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(13): 2729-2739.

[4] Cheng M T, Horng C L, Su Y R, *et al.* Particulate matter characteristics during agricultural waste burning in Taichung City, Taiwan[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, **165**(1-3): 187-192.

[5] Viana M, López J M, Querol X, *et al.* Tracers and impact of open burning of rice straw residues on PM in Eastern Spain[J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(8): 1941-1957.

[6] Tian D, Hu Y, Wang Y, *et al.* Assessment of biomass burning emissions and their impacts on urban and regional  $PM_{2.5}$ : a Georgia case study[J]. *Environmental Science & Technology*, 2009, **43**(2): 299-305.

[7] 田贺忠, 赵丹, 王艳. 中国生物质燃烧大气污染物排放清单[J]. *环境科学学报*, 2011, **31**(2): 349-357.

[8] Akagi S K, Yokelson R J, Wiedinmyer C, *et al.* Emission factors for open and domestic biomass burning for use in atmospheric models[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 2010, **10**(11): 27523-27602.

[9] Zhang Z S, Engling G, Lin C Y, *et al.* Chemical speciation, transport and contribution of biomass burning smoke to ambient aerosol in Guangzhou, a mega city of China[J]. *Atmospheric Environment*, 2010, **44**(26): 3187-3195.

[10] Zhang Y S, Shao M, Lin Y, *et al.* Emission inventory of

- carbonaceous pollutants from biomass burning in the Pearl River Delta Region, China. *Atmospheric Environment*, 2013, **76**: 189-199.
- [11] Engling G, Lee J J, Sie H J, *et al.* Anhydrosugar characteristics in biomass smoke aerosol-case study of environmental influence on particle-size of rice straw burning aerosol [J]. *Journal of Aerosol Science*, 2013, **56**: 2-14.
- [12] 孙丽娜, 刘刚, 李久海, 等. 稻草及其燃烧烟尘中正构烷烃的研究[J]. *中国环境科学*, 2012, **32**(11): 1948-1954.
- [13] 刘刚, 孙丽娜, 李久海, 等. 秸秆燃烧排放的正构烷烃及其碳同位素组成特征[J]. *中国环境科学*, 2012, **32**(12): 2184-2191.
- [14] Zhang Y X, Shao M, Zhang Y H, *et al.* Source profiles of particulate organic matters emitted from cereal straw burnings [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2007, **19**(2): 167-175.
- [15] Hays M D, Fine P M, Geron C D, *et al.* Open burning of agricultural biomass: Physical and chemical properties of particle-phase emissions[J]. *Atmospheric Environment*, 2005, **39**(36): 6747-6764.
- [16] 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.
- [17] Wu S P, Tao S, Zhang Z H, *et al.* Distribution of particle-phase hydrocarbons, PAHs and OCPs in Tianjin, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2005, **39**(38): 7420-7432.
- [18] Wang G H, Kawamura K, Lee S C, *et al.* Molecular, seasonal, and spatial distributions of organic aerosols from fourteen Chinese cities [J]. *Environmental Science & Technology*, 2006, **40**(15): 4619-4625.
- [19] Simoneit B R T, Sheng G Y, Chen X J, *et al.* Molecular marker study of extractable organic matter in aerosols from urban areas of China[J]. *Atmospheric Environment*, 1991, **25**(10): 2111-2129.
- [20] Simoneit B R T. Organic matter of the troposphere: V. Application of molecular marker analysis to biogenic emissions into the troposphere for source reconciliations [J]. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 1989, **8**(3): 251-275.
- [21] Medeiros P M, Simoneit B R T. Source profiles of organic compounds emitted upon combustion of green vegetation from temperate climate forests [J]. *Environmental Science & Technology*, 2008, **42**(22): 8310-8316.
- [22] Gonçalves C, Alves C, Fernandes A P, *et al.* Organic compounds in PM<sub>2.5</sub> emitted from fireplace and woodstove combustion of typical Portuguese wood species[J]. *Atmospheric Environment*, 2011, **45**(27): 4533-4545.
- [23] Gonçalves C, Alves C, Evtyugina M, *et al.* Characterization of PM<sub>10</sub> emissions from woodstove combustion of common woods grown in Portugal [J]. *Atmospheric Environment*, 2010, **44**(35): 4474-4480.
- [24] Malley V P O, Burke R A, Schlotzhauer W S. Using GC-MS/Combustion/IRMS to determine the <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C ratios of individual hydrocarbons produced from the combustion of biomass materials-application to biomass burning [J]. *Organic Geochemistry*, 1997, **27**(7-8): 567-581.
- [25] Abas M R, Simoneit B R T, Elias V, *et al.* Composition of higher molecular weight organic matter in smoke aerosol from biomass combustion in Amazonia[J]. *Chemosphere*, 1995, **30**(5): 995-1015.
- [26] Oros D R, Abas M R, Omar N Y M J, *et al.* Identification and emission factors of molecular tracers in organic aerosols from biomass burning: Part 3. Grasses[J]. *Applied Geochemistry*, 2006, **21**(6): 919-940.
- [27] Fernandez M B, Brooks P. Characterization of carbonaceous combustion residues: II. Nonpolar organic compounds [J]. *Chemosphere*, 2003, **53**(5): 447-458.

## CONTENTS

Aerosol Optical Properties During Different Air-Pollution Episodes over Beijing .....	SHI Chan-zhen, YU Xing-na, ZHOU Bin, <i>et al.</i> (4139)
Characteristics and Source Analysis of Atmospheric Aerosol Ions over the Bohai Sea and the North Yellow Sea in Autumn .....	ZHANG Yan, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (4146)
Spatial Distribution Characteristics of Carbonaceous Aerosol During Summer in Beibu Gulf Zone, China .....	YANG Yi-hong, TAO Jun, GAO Jian, <i>et al.</i> (4152)
Study on the <i>in-situ</i> Measurement of Greenhouse Gas by an Improved FTIR .....	XIA Ling-jun, LIU Li-xin, ZHOU Ling-xi, <i>et al.</i> (4159)
Distribution of CH <sub>4</sub> in the Suburb of Changsha City, China .....	LIU Lu-ning, WANG Ying-hong, XU Xiao-juan, <i>et al.</i> (4165)
Chemical Composition of <i>n</i> -Alkanes in Wheat Straw and Smoke .....	LIU Gang, LI Jiu-hai, XU Hui, <i>et al.</i> (4171)
Degradation of the Absorbed Methyl Mercaptan by Persulfate in Alkaline Solution .....	YANG Shi-ying, WANG Lei-lei, FENG Lin-yu, <i>et al.</i> (4178)
Emissions of Greenhouse Gas and Ammonia from the Full Process of Sewage Sludge Composting and Land Application of Compost .....	ZHONG Jia, WEI Yuan-song, ZHAO Zhen-feng, <i>et al.</i> (4186)
Distribution and Physicochemical Properties of Aquatic Colloids in the Yangtze Estuarine and Coastal Ecosystem .....	GU Li-jun, YANG Yi, LIU Min, <i>et al.</i> (4195)
Spatial Distribution and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Estuaries Surface Sediments from the Haihe River Basin .....	..... LÜ Shu-cong, ZHANG Hong, SHAN Bao-qing, <i>et al.</i> (4204)
Distribution of Perfluorooctanesulfonate and Perfluorooctanoate in Water and the Sediment in Fenhe River, Shanxi Province .....	Higashiguchi Tomohiro, SHI Jiang-hong, ZHANG Hui, <i>et al.</i> (4211)
Analysis on Nitrogen and Phosphorus Loading of Non-point Sources in Shiqiao River Watershed Based on L-THIA Model .....	LI Kai, ZENG Fan-tang, FANG Huai-yang, <i>et al.</i> (4218)
Pollutant Source Apportionment of Combined Sewer Overflows Using Chemical Mass Balance Method .....	DAI Mei-hong, LI Tian, ZHANG Wei (4226)
Simulated Study of Algal Fatty Acid Degradation in Hypoxia Seawater-Sediment Interface Along China Coastal Area .....	SUI Wei-wei, DING Hai-bing, YANG Gui-peng, <i>et al.</i> (4231)
Influence of Two Different Species of Aquatic Plant Communities on the Concentration of Various Nitrogen Forms in Sediment of Lake Taihu .....	..... MA Jiu-yuan, WANG Guo-xiang, LI Zhen-guo, <i>et al.</i> (4240)
Study on Removal Rule of Endosulfan in Surface Flow Constructed Wetland .....	QIN Jing, GAO Fu-wei, XIE Hui-jun (4251)
Accumulation and Transformation of Different Arsenic Species in Nonaxenic <i>Dunaliella salina</i> .....	WANG Ya, ZHANG Chun-hua, WANG Shu, <i>et al.</i> (4257)
Evaluation of <i>in situ</i> Capping with Lanthanum-Modified Zeolite to Control Phosphate and Ammonium Release from Sediments in Heavily Polluted River .....	..... LI Jia, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui (4266)
Effects of Invertebrate Bioturbation on Vertical Hydraulic Conductivity of Streambed for a River .....	REN Chao-liang, SONG Jin-xi, YANG Xiao-gang, <i>et al.</i> (4275)
Formation of Disinfection By-products by <i>Microcystis aeruginosa</i> Intracellular Organic Matter; Comparison Between Chlorination and Bromination .....	..... TIAN Chuan, GUO Ting-ting, LIU Rui-ping, <i>et al.</i> (4282)
Effect of Natural Organic Matter on Coagulation Efficiency and Characterization of the Floes Formed .....	XU Lei, YU Wen-zheng, LIANG Liang, <i>et al.</i> (4290)
DOM Membrane Fouling and Effects on Rejection Behaviors of NF Membranes .....	FENG Gui-zhen, DONG Bing-zhi (4295)
Removal of Hg in Wastewater by Zero-Valent Iron .....	ZHOU Xin, ZHANG Jin-zhong, QIU Xin-kai, <i>et al.</i> (4304)
Catalytic Dechlorination of 2,4-D in Aqueous Solution by Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -Stabilized Nanoscale Pd/Fe .....	ZHOU Hong-yi, LIANG Si, ZENG Si-si, <i>et al.</i> (4311)
Comparative Study on Adsorption Behaviors of Natural Organic Matter by Powered Activated Carbons with Different Particle Sizes .....	LI Zheng-jian, SHI Bao-you, WANG Dong-sheng (4319)
Removal of Nitrate from Aqueous Solution Using Cetylpyridinium Chloride (CPC)-Modified Activated Carbon as the Adsorbent .....	ZHENG Wen-jing, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (4325)
Adsorption Properties of Modified Graphene for Methylene Blue Removal from Wastewater .....	WU Yan, LUO Han-jin, WANG Hou, <i>et al.</i> (4333)
Application of Classical Isothermal Adsorption Models in Heavy Metal Ions/Diatomite System and Related Problems .....	ZHU Jian, WU Qing-ding, WANG Ping, <i>et al.</i> (4341)
Effects of Nitrate on Anoxic/Anaerobic Oxidation of Methane in the Aged Refuse .....	LIU Yan-yan, LONG Yan, YIN Hua, <i>et al.</i> (4349)
Study on the Biotransformation of Sulfate and Ammonia in Anaerobic Conditions .....	ZHANG Li, HUANG Yong, YUAN Yi, <i>et al.</i> (4356)
Characteristics of Sulfate Reduction-Ammonia Oxidation Reaction .....	YUAN Yi, HUANG Yong, LI Xiang, <i>et al.</i> (4362)
Analysis of Hydrogen-production Performance in a UASB System at Low pH .....	ZHAO Jian-hui, ZHANG Bai-hui, LI Ning, <i>et al.</i> (4370)
Preparation of Red Mud Loaded Co Catalysts; Optimization Using Response Surface Methodology (RSM) and Activity Evaluation .....	LI Hua-nan, XU Bing-bing, QI Fei, <i>et al.</i> (4376)
Toxic Effects of High Concentrations of Ammonia on <i>Euglena gracilis</i> .....	LIU Yan, SHI Xiao-rong, CUI Yi-bin, <i>et al.</i> (4386)
Influence of Image Process on Fractal Morphology Characterization of NAPLs Vertical Fingering Flow .....	LI Hui-ying, DU Xiao-ming, YANG Bin, <i>et al.</i> (4392)
Changing Characteristics of Organic Matter and pH of Cultivated Soils in Zhejiang Province over the Last 50 Years .....	ZHANG Ming-kui, CHANG Yue-chang (4399)
Study on Selenium Contents of Typical Selenium-rich Soil in the Middle Area of Zhejiang and Its Influencing Factors .....	HUANG Chun-lei, SONG Ming-yi, WEI Ying-chun (4405)
Spatial Distribution Characteristics of Fe and Mn Contents in the New-born Coastal Marshes in the Yellow River Estuary .....	SUN Wen-guang, GAN Zhuo-ting, SUN Zhi-gao, <i>et al.</i> (4411)
Level, Composition and Sources of Medium-Chain Chlorinated Paraffins in Soils from Chongming Island .....	SUN Yang-zhao, WANG Xue-tong, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (4420)
Distribution Characteristics of Organochlorine Pesticides in Soil from Daiyun Mountain Range in Fujian, China .....	QU Cheng-kai, QI Shi-hua, ZHANG Li, <i>et al.</i> (4427)
Levels of PCDD/Fs and Dioxin-Like PCBs in Soils Near E-Waste Dismantling Sites .....	SHAO Ke, YIN Wen-hua, ZHU Guo-hua, <i>et al.</i> (4434)
Chemical Form Changes of Exogenous Water Solution Fluoride and Bioavailability in Tea Garden Soil .....	CAI Hui-mei, PENG Chuan-yi, CHEN Jing, <i>et al.</i> (4440)
Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Vegetation Restoration of Different Types of Coal Mine Spoil Banks .....	ZHAO Ren-xin, GUO Wei, FU Rui-ying, <i>et al.</i> (4447)
Effects of the Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Environmental Phytoremediation in Coal Mine Areas .....	LI Shao-peng, BI Yin-li, KONG Wei-ping, <i>et al.</i> (4455)
Preliminary Analysis of Manganese Uptake Mechanism in the Hyperaccumulator <i>Phytolacca americana</i> L. ....	XU Xiang-hua, LI Ren-ying, LIU Cui-ying, <i>et al.</i> (4460)
Research on the Bioaccessibility of HgS by <i>Shewanella oneidensis</i> MR-1 .....	CHEN Yan, WANG Hui, SI You-bin (4466)
Study on IEUBK Model Localization Based on Behavior Parameters of Children from Southwestern China .....	JIANG Bao, CUI Xiao-yong (4473)
Sorption and Desorption Characteristics of Different Structures of Organic Phosphorus onto Aluminum (Oxyhydr) Oxides .....	LIU Fei, ZHANG Yan-yi, YAN Yu-peng, <i>et al.</i> (4482)
Study on the Occurrence of Ferrum in Coal by Ultrasound-assisted Sequential Chemical Extraction .....	XIONG Jin-yu, LI Han-xu, DONG Zhong-bing, <i>et al.</i> (4490)
A Review of Uptake, Translocation and Phytotoxicity of Engineered Nanoparticles in Plants .....	YANG Xin-ping, ZHAO Fang-Jie (4495)

# 《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11月15日 34卷 第11期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 11 Nov. 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