

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第11期

Vol.37 No.11

2016

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

承德市大气污染源排放清单及典型行业对 PM _{2.5} 的影响	陈国磊,周颖,程水源,杨孝文,王晓琦 (4069)
浙江省木制品行业挥发性有机物排放特征及排放系数	姚轶,王浙明,何志桥,徐志荣,顾震宇 (4080)
山西省人为源 VOCs 排放清单及其对臭氧生成贡献	闫雨龙,彭林 (4086)
某化工区典型高污染过程 VOCs 污染特征及来源解析	高松,崔虎雄,伏晴艳,高爽,田新愿,方方,衣学文 (4094)
加油 VOCs 排放因子测试方法研究与应用	黄玉虎,常耀卿,任碧琪,秦建平,胡玮,刘明宇 (4103)
北京市生活垃圾填埋场氨排放特征研究	崔彤,李金香,杨妍研,程刚 (4110)
西安市人为源大气氨排放清单及特征	苏航,闫东杰,黄学敏,宋文斌,王惠琴,宋雪娟 (4117)
佛山市冬夏季非甲烷烃污染特征研究	周雪明,项萍,段菁春,贺克斌,马永亮,邓思欣,司徒淑婷,谭吉华 (4124)
天津市道路环境大气颗粒物水溶性无机离子分析	赵梦雪,吴琳,方小珍,杨志文,李凤华,毛洪钧 (4133)
戴云山国家级自然保护区大气氮沉降特点	袁磊,李文周,陈文伟,张金波,蔡祖聪 (4142)
青岛近海冬季大气生物气溶胶中微生物活性研究	孟祥斌,李孟哲,李鸿涛,高冬梅,祁建华 (4147)
玉米秸秆烟尘中正构脂肪酸的分子与碳同位素组成	刘刚,孙丽娜,徐慧,李久海,李中平,李立武 (4156)
极低风速条件下水-气界面甲烷气体传输速率分析	张成,吕新彪,龙丽,张军伟,穆晓辉,李迎晨,王圣瑞,张文丽,肖尚斌 (4162)
典型水库型湖泊中 CDOM 吸收及荧光光谱变化特征: 基于沿岸生态系统分析	陈雪霜,江韬,卢松,白薇扬,张成,王定勇,魏世强 (4168)
西苕溪支流河口水体营养盐的特征及源贡献分析	陈诗文,袁旭音,金晶,李正阳,许海燕 (4179)
周村水库主库区热分层初期氮素降低的驱动因子分析	张春华,黄廷林,方开凯,周石磊,夏超 (4187)
太湖湖泛易发区沉积物中有机磷形态分布特征	董丹萍,章婷曦,张丁予,王巧云,李德芳,王国祥 (4194)
多重扰动对湖泊内源磷迁移转化的影响	蔡顺智,李大鹏,王忍,刘焱见,徐垚,于胜楠,黄勇 (4203)
丹江口库区覆膜耕作土壤氮素淋失随夏玉米生长期的变化	王伟,于兴修,汉强,刘航,徐苗苗,任瑞,张家鹏 (4212)
营养盐恢复对氮磷饥饿铜绿微囊藻生长的影响	岳冬梅,李洁,肖琳 (4220)
氯灭活地下水源中 3 种优势真菌的效能与机制	文刚,朱红,黄廷林,赵建超,任崴,徐向前 (4228)
净水工艺对饮用水中微生物多重耐药性的影响与分析	马晓琳,陆洋,王钰,侯誉,白晓慧 (4235)
单过硫酸氢钾复合粉在饮用水消毒过程中的副产物生成特性及遗传毒性变化	敖秀玮,李豪杰,刘文君,余京儒 (4241)
三维有序介孔 Co ₃ O ₄ 非均相活化单过硫酸氢钾降解罗丹明 B	冯善方,邓思萍,杜嘉雯,马晓雁,卢遇安,高乃云,邓靖 (4247)
调控絮体形态强化电絮凝减缓膜污染	赵凯,杨春风,孙境求,李静,胡承志 (4255)
初始 pH 值对序批式 CANON 工艺脱氮效果和 N ₂ O 释放的影响	付昆明,王会芳,苏雪莹,周厚田 (4261)
3DBER-S-Fe 同步脱氮除磷及去除邻苯二甲酸酯的工艺特性	张娅,郝瑞霞,徐鹏程,徐忠强 (4268)
基于反硝化脱氮的硫铁复合填料除磷机制	范军辉,郝瑞霞,李萌,朱晚霞,万京京 (4275)
基于 ABR-MBR 组合工艺优化反硝化除磷性能的研究	程朝阳,赵诗惠,吕亮,吴鹏,沈耀良 (4282)
中常温变化对 PN-ANAMMOX 联合工艺脱氮效果的影响	袁砚,朱亮 (4289)
生物活性炭对不同 C/N 比废水同步硝化反硝化脱氮效果的影响	崔延瑞,邱鑫,张庆荣,王琦,吴青,孙剑辉 (4296)
ANAMMOX 菌利用零价铁还原硝酸盐脱氮研究	周健,完颜德卿,黄勇,刘忻,袁怡,李祥,姚鹏程,杨朋兵,薛鹏程 (4302)
间歇曝气 SBR 与传统 SBR 处理养猪沼液的比较研究	董宝刚,宋小燕,刘锐,川岸朋树,张永明,陈吕军 (4309)
应用解蛋白菌生物预水解剩余污泥	何晶晶,王颖,胡洁,吕凡,邵立明 (4317)
应用环境多介质逸度模型研究废旧电器拆解区多溴联苯醚的迁移及归趋	薛南冬,陈宣宇,杨兵,秦普丰,龙雨 (4326)
南宁市多环境介质中多环芳烃分布特征	苗迎,孔祥胜 (4333)
杭州城区室内灰尘中多溴联苯醚的含量及人体暴露水平	金漫彤,滕丹丹,郑艳霞,胡张璇,沈学优,金赞芳 (4341)
应用线性自由能关系估算药用活性化合物的生物碳质-水吸附系数	王佳怡,毕二平 (4349)
表流湿地细菌群落结构特征	魏佳明,崔丽娟,李伟,雷茵茹,于菁菁,秦鹏,穆泳林,梁钊瑞 (4357)
城市污水中硝化菌群落结构与性能分析	于莉芳,杜倩倩,傅学焘,张茹,李文江,彭党聪 (4366)
DNA 和 cDNA 水平对比研究施肥对稻田土壤细菌多样性的影响	王聪,吴讷,侯海军,汤亚芳,沈健林,秦红灵 (4372)
培养条件下双酚 A 对稻田土壤微生物群落特征的影响	刘畅,黄雅丹,张莹,靳振江,梁月明,宋昂,王腾,郭佳怡,李强 (4380)
1 株兼具好、厌氧汞甲基化能力细菌的分离鉴定	陶兰兰,向玉萍,王定勇,黄曼琳,申鸿 (4389)
北京地区菜田土壤抗生素抗性基因的分布特征	张兰河,王佳佳,哈雪姣,邱孟超,高敏,仇天雷,王旭明 (4395)
梅花鹿养殖场抗生素抗性基因分布特征	黄福义,安新丽,陈青林,任红云,苏建强 (4402)
几种高硅质矿物细颗粒的 A549 细胞毒性对比	霍婷婷,董发勤,邓建军,张青碧,贺小春,孙东平 (4410)
添加复合吸附剂对土壤吸附菲和 Cr(VI) 的影响	李文斌,孟昭福,吴琼,许绍娥,刘泽 (4419)
生物炭对西北黄土吸附壬基酚的影响	张振国,蒋煜峰,慕仲锋,孙航,周琦,展惠英 (4428)
集雨种植下不同沟垄比对土壤呼吸的影响及其对水热因子的响应	王昌江,施成晓,冯帆,陈婷,张磊,吕晓康,王伟,廖允成 (4437)
秸秆还田与化肥减量配施对稻-菜轮作下土壤养分及酶活性的影响	黄容,高明,万毅林,田冬,陶睿,王芳丽 (4446)
《环境科学》征稿简则 (4161)	《环境科学》征订启事 (4365)
信息 (4123,4132,4409)	

玉米秸秆烟尘中正构脂肪酸的分子与碳同位素组成

刘刚¹, 孙丽娜¹, 徐慧¹, 李久海¹, 李中平², 李立武²

(1. 南京信息工程大学江苏省大气环境与装备技术协同创新中心, 南京 210044; 2. 中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心, 兰州 730000)

摘要: 在模拟的明火燃烧和闷烧条件下对 4 种玉米秸秆进行了焚烧试验, 用 GC/MS 和 GC/C/IRMS 分别测定烟尘中正构脂肪酸的分子与碳同位素组成。结果表明, 在明火烟尘中正构脂肪酸由 $C_7 \sim C_{34}$ 组成, 其平均总含量为 $13\,895.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。其低碳数 ($\leq C_{16}$) 与高碳数 ($> C_{16}$) 正构脂肪酸的含量比 (L/H) 平均值为 1.1。 C_{18}/C_{16} 、 C_{24}/C_{16} 、 C_{24}/C_{18} 、 $C_{24}/(C_{22} + C_{26})$ (CAR) 的平均值分别为 0.33、0.17、0.50、1.2。正构脂肪酸单体表现出以 C_{16} 、 C_{24} 为主、次峰碳数的双峰式分布模式。其碳优势指数 (CPI) 的平均值为 4.5。在闷烧烟尘中正构脂肪酸由 $C_6 \sim C_{34}$ 组成, 其平均总含量为 $50\,183.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。L/H、 C_{18}/C_{16} 、 C_{24}/C_{16} 、 C_{24}/C_{18} 、CAR 的平均值分别为 1.3、0.33、0.20、0.60、1.6。也具有与明火烟尘相同的分布模式。其 CPI 的平均值为 6.1。明火烟尘中 $C_{14} \sim C_{26}$ 单体的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值在 $-21.0\text{‰} \sim -24.8\text{‰}$ 之间变化, 总平均值为 -23.5‰ 。该值与玉米秸秆中对应值之差 ($\Delta^{13}\text{C}$) 达 -0.7‰ 。闷烧烟尘中 $C_{14} \sim C_{26}$ 单体 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值的变化范围为 $-21.8\text{‰} \sim -25.4\text{‰}$, 总平均值为 -23.3‰ 。其 $\Delta^{13}\text{C}$ 值达 -0.5‰ 。与玉米秸秆相比, 两种烟尘中正构脂肪酸的分子组成和碳同位素组成均发生了明显的改变。L/H、 C_{24}/C_{16} 、 C_{24}/C_{18} 、CAR、 $\delta^{13}\text{C}$ 等指标可用于识别大气气溶胶中玉米秸秆燃烧来源的正构脂肪酸。

关键词: 玉米秸; 烟尘; 正构脂肪酸; 分子组成; 碳同位素

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)11-4156-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.201603194

Molecular and Carbon Isotopic Compositions of *n*-Alkanoic Acids in Smoke from Maize Straw Combustion

LIU Gang¹, SUN Li-na¹, XU Hui¹, LI Jiu-hai¹, LI Zhong-ping², LI Li-wu²

(1. Jiangsu Collaborative Innovation Center of Atmospheric Environment and Equipment Technology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2. Lanzhou Center for Oil and Gas Resources, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Four cultivars of maize straw were burned under flaming and smoldering conditions. Smoke samples were collected and analyzed by GC/MS and GC/C/IRMS to determine molecular and stable carbon isotopic compositions of *n*-alkanoic acids in them. The results showed that *n*-alkanoic acids in flaming smoke were composed of C_7 to C_{34} , with a mean total content of $13\,895.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. The average ratio values of the content for homologues with lower carbon number ($\leq C_{16}$) to that for ones with higher carbon number ($> C_{16}$) (L/H), C_{18}/C_{16} , C_{24}/C_{16} , C_{24}/C_{18} , and $C_{24}/(C_{22} + C_{26})$ (CAR) were 1.1, 0.33, 0.17, 0.50, and 1.2, respectively. Moreover, the acids exhibited a bimodal profile with peaks at C_{16} and C_{24} , respectively. They had evident even to odd carbon number predominance (mean CPI: 4.5). In smoldering smoke the acids were consisted of C_6 to C_{34} , with an average total content of $50\,183.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. The mean ratios of L/H, C_{18}/C_{16} , C_{24}/C_{16} , C_{24}/C_{18} , and CAR were 1.3, 0.33, 0.20, 0.60, and 1.6, respectively. In addition, the homologues had the same distribution pattern as in flaming smoke and even to odd carbon number predominance (mean CPI = 6.1). The mean carbon isotopic ratio ($\delta^{13}\text{C}$) values for individual *n*-alkanoic acids (C_{14} to C_{26}) in flaming smoke ranged from -21.0‰ to -24.8‰ , the overall average of which was -23.5‰ . The difference between mean $\delta^{13}\text{C}$ values of *n*-fatty acids in flaming smoke and the straw ($\Delta^{13}\text{C}$) was -0.7‰ . In smoldering smoke, the mean $\delta^{13}\text{C}$ values for the compounds varied from -21.8‰ to -25.4‰ , with an overall average of -23.3‰ . The $\Delta^{13}\text{C}$ value was up to -0.5‰ . The molecular and carbon isotopic compositions of *n*-alkanoic acids in smoke were significantly different from those in straw matter. L/H, C_{24}/C_{16} , C_{24}/C_{18} , CAR, and $\delta^{13}\text{C}$ might be useful proxies to discriminate the organic pollutants in atmospheric aerosols derived from maize straw combustion.

Key words: maize straw; smoke; *n*-alkanoic acid; molecular composition; carbon isotope

我国的玉米秸秆年产量为 2.3 亿 t, 其中 23% 被露天焚烧^[1]。正构脂肪酸是作物秸秆烟尘中常见的有机物^[2], 也是大气气溶胶的主要有机成分^[3,4]。在收获季节秸秆燃烧是大气中正构脂肪酸的重要来源。除此之外, 正构脂肪酸还有其他多种来源。植物风化碎屑中含有 $C_{12} \sim C_{40}$ 的正构脂肪酸^[5]。木

柴、草、煤、泥炭等在燃烧过程会排放 $C_8 \sim C_{34}$ 的正构脂肪酸^[6~9]。机动车和燃油锅炉也排放正构脂肪

收稿日期: 2016-03-25; 修订日期: 2016-05-13

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物组成与源识别, E-mail: liugang650104@ sina.com

酸^[10~13]. 对不同生物质排放烟尘中正构脂肪酸的组成虽然已进行了大量的研究^[2, 6, 7, 14~18], 但就燃烧条件对烟尘中正构脂肪酸分子和碳同位素组成的影响却关注较少. 初步的研究结果表明, 在 C_4 植物明火燃烧产生的烟尘中, 正构脂肪酸的碳同位素组成比植物本身亏损 2‰~6‰^[19]. 而闷燃烟尘中的脂肪酸单体保存了植物中脂肪酸的碳同位素组成^[20]. 本研究拟在模拟的明火燃烧和闷燃条件下对玉米秸秆进行燃烧试验, 初步探讨不同燃烧条件对秸秆烟尘中正构脂肪酸的分子组成和碳同位素组成的影响.

1 材料与方法

1.1 秸秆采集与制备

2011~2012 年在陕西、河南和江苏, 分别采集了中单 2 号、豫丰 3358/掖单 4 号、中甜 9 号等品种的玉米秸秆. 对于制备测定正构脂肪酸所用的秸秆样时, 取适量完整的秸秆, 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. 对于焚烧用的秸秆, 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 2 种田间焚烧方式, 明火燃烧和闷燃, 在一容积为 60 m³ 的房间内进行燃烧试验. 在模拟明火燃烧时, 取每种秸秆 1.5 kg, 自然堆放在一张钢盘上点燃. 闷燃时取秸秆 0.2 kg, 放入燃烧炉后点燃. 通过调节挡板以控制进入燃烧室的空气量, 使燃烧过程不产生火焰. 具体燃烧装置见文献[21]. 采样期间保持门窗关闭. 用 2 台小流量大气颗粒物采样器 (Andersen, AH-200 型) 同时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. 每次采样将收集到秸秆燃烧产生的大部分烟尘. 采样过程中也没有发生滤膜堵塞的现象. 采样所用的玻璃纤维滤膜 (规格 80 mm, 孔径 0.22 μm) 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. PM_{2.5} 样品用铝箔 (在 500℃ 灼烧 2 h) 包裹, 冷冻保存.

1.3 有机酸提取与测定

称取玉米秸秆粉末 1 g, 或者取采集了烟尘的滤膜半张, 每次加入二氯甲烷/甲醇混合液 (2:1, 体积比) 10 mL, 在室温下超声振荡 15 min, 共重复提取 3 次. 合并萃取液, 用旋转蒸发器在 40℃ 浓缩至 3

mL, 再用 N₂ 吹仪在 40℃ 浓缩至 1 mL. 将浓缩液滴加于硅胶柱上, 依次用 30 mL 正己烷和甲醇洗脱烃类和极性组分. 硅胶柱长 20 cm, 内径 1 cm. 硅胶 (60~100 目) 在使用前用二氯甲烷超声振荡提取 2 次, 然后于 150℃ 活化 12 h. 在室温下加入 3% (质量分数) 蒸馏水去活化, 平衡 24 h. 用旋转蒸发器和氮吹仪浓缩、吹干极性馏分, 用 200 μL BF₃/MeOH 在 60℃ 衍生 2 h. 衍生液经氮吹后用二氯甲烷定容至 0.5 mL.

用气相色谱-质谱联用仪 (GC-MS) (6890N/5975 GC-MS 型, 美国安捷伦公司) 对上述衍生物进行分析. 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⁻¹, 气化室温度 300℃, 进样量 1 μL (不分流). 升温程序: 初始温度 60℃, 保持 2 min, 以 10℃·min⁻¹ 升温至 300℃, 保持 20 min. 选取质量数为 74 的离子色谱峰面积进行外标法定量. 正十二酸甲酯~正二十四酸甲酯混合标准品购自 Nu Chek Prep, Inc. 在分离测定实际样品之前, 用正十六酸进行了加标回收试验, 结果回收率达 70%~110%.

用气相色谱/稳定同位素在线分析系统 (GC/C/IRMS, Delta plus XP 型) 测定正构脂肪酸甲酯的单体碳同位素比值. 衍生试剂 BF₃/MeOH 中甲醇的碳同位素比值用离线质谱仪 (Finnigan MAT-252 型) 测量. 测定前在 800℃ 氧化该衍生试剂, 生成的 CO₂ 经净化后进行测定. 根据每种脂肪酸甲酯中加入碳原子的多少, 以及脂肪酸甲酯和甲醇的碳同位素比值, 以同位素质量平衡方程计算对应正构脂肪酸的碳同位素比值^[19].

离线测量的仪器标准偏差 < 0.3‰, 在线测量的标准偏差 < 0.5‰.

2 结果与讨论

2.1 玉米秸秆中正构脂肪酸的分子组成

在 4 种玉米秸秆中正构脂肪酸由 C₈~C₃₄ 组成 (表 1). 这与前人的研究结果类似^[22]. 其平均总含量为 997.8 mg·kg⁻¹. 低碳数 (C₆~C₁₆) 与高碳数 (C₁₇~C₃₄) 正构脂肪酸含量比 (L/H) 的平均值为 0.9. 表明秸秆中低碳数正构脂肪酸的含量比高碳数的稍低. C₁₈/C₁₆、C₂₄/C₁₆、C₂₄/C₁₈ 等比值的平均值分别为 0.39、0.25、0.63. 羧酸比值 [CAR = n-C₂₄/(n-C₂₂ + n-C₂₆)] 的平均值为 1.5. 该值处于 C₄ 植物的 CAR 值范围内^[23]. 正构脂肪酸呈以 C₁₆、

表 1 玉米秸秆及其烟尘中正构脂肪酸单体的含量和指标¹⁾/mg·kg⁻¹

Table 1 Proxies and contents of individual *n*-alkanoic acids in maize straw and its smoke/mg·kg⁻¹

项目	中单 2 号			豫丰 3358			掖单 4 号			中甜 9 号		
	秸秆	明火烟	闷烧烟	秸秆	明火烟	闷烧烟	秸秆	明火烟	闷烧烟	秸秆	明火烟	闷烧烟
C ₆						223.2			179.7			
C ₇			213.7			235.8		108.9	195.5			262.1
C ₈	1.7	190.5	276.6	3.1		329.0	1.2	129.3	295.6			325.5
C ₉	2.7	217.8	391.9	5.1	141.0	438.6	1.2	151.3	396.1	3.7		422.0
C ₁₀	3.4	207.2	382.1	7.9	163.3	413.9	4.1	139.1	403.6	4.1	174.6	398.8
C ₁₁	1.3	194.3	272.2	2.3	183.8	280.2	1.1	120.0	271.6	3.8	409.3	290.2
C ₁₂	5.1	279.8	1 053.6	56.0	171.2	1 297.3	3.6	243.7	1847.0	12.3	180.1	1042.2
C ₁₃	1.5	203.9	319.5	3.5	153.2	328.0	1.4	125.1	291.3	4.0	176.1	344.2
C ₁₄	9.4	448.9	1 825.2	139.4	349.5	3 037.8	28.5	730.5	4352.0	24.2	254.9	1679.0
C ₁₅	6.8	309.9	1 152.0	23.3	239.1	989.1	9.2	322.6	1 440.0	9.2	233.8	873.8
C ₁₆	263.9	3 774.3	18 417.1	714.9	7 207.0	17 113.9	203.7	5 039.2	26 762.9	320.2	6 137.0	19 321.5
C ₁₇	17.0	208.3	766.6	83.1	650.8	690.5	14.8	236.2	899.8	18.3	252.3	632.3
C ₁₈	92.3	1 380.8	5 088.7	286.8	1 375.6	7293.4	78.2	1 949.9	7 920.6	141.3	2421.8	6 444.6
C ₁₉	3.7	98.4	262.5	13.5	395.0	281.1	6.5	113.4	423.2	7.2	200.8	229.4
C ₂₀	21.2	282.0	1 247.9	137.9	503.9	3 770.7	33.3	594.7	2 342.7	57.2	1 060.1	1 480.3
C ₂₁	3.5	102.2	324.0	10.4	225.1	364.4	6.3	147.5	569.6	7.1	217.3	266.7
C ₂₂	22.3	248.4	1 148.9	117.9	433.3	3 650.5	28.7	705.2	2 641.6	34.0	481.8	1 014.5
C ₂₃	15.3	245.8	1 443.1	56.3	368.4	3 473.8	25.6	626.5	2 833.4	21.9	403.0	955.4
C ₂₄	64.7	500.9	3 318.0	174.3	546.1	5 281.0	50.0	1 492.0	4 372.5	80.2	1 179.7	3057.6
C ₂₅	16.1	200.3	825.3	56.1	234.3	997.8	20.2	373.6	1 421.6	66.7	402.3	534.5
C ₂₆	9.7	151.2	538.8	44.7	251.8	904.2	11.8	311.8	1 135.3	14.9	399.3	513.4
C ₂₇	2.5	79.3	110.8	5.8	253.4	158.9	2.3	66.8	173.8	6.4		142.8
C ₂₈	5.6	97.8	213.8	15.6	227.8	478.8	4.2	157.6	603.8	10.3	302.8	444.4
C ₂₉		75.0	117.9	3.7	248.8	154.4	1.9	59.3	144.5	6.1		151.0
C ₃₀	3.3	99.3	257.0	11.5	487.6	652.1	5.1	224.7	765.3	11.8	287.2	610.2
C ₃₁			97.2	2.5	250.5	131.1	1.7	55.6	128.7	5.7		134.0
C ₃₂	3.7	100.7	222.2	7.8	470.4	590.7	4.5	206.7	657.8	8.8	252.7	550.6
C ₃₃						108.6		127.8	95.1			111.4
C ₃₄		81.5	147.5	2.7		309.1		284.8	272.7			253.2
∑	576.7	9 778.7	40 434.1	1 986.1	15 531.0	53 977.9	549.1	14 843.6	63 837.3	879.4	15 426.8	42 485.7
L/H	1.1	1.5	1.5	0.9	1.2	0.8	0.9	0.9	1.3	0.8	1.0	1.4
CPI	7.2	3.9	5.5	6.5	3.6	5.4	4.9	4.9	6.0	4.5	5.7	7.3

1) ∑ 为正构脂肪酸总含量; L/H = (C₆ + C₇ + ⋯ + C₁₆)/(C₁₇ + C₁₈ + ⋯ + C₃₄); CPI = (C₁₀ + C₁₂ + ⋯ + C₃₂)/(C₉ + C₁₁ + ⋯ + C₃₁)

C₂₄为主、次峰碳数的双峰式分布,且具有明显的偶碳数优势(图 1). 其碳优势指数(CPI)的平均值为 5.8,与 C₄ 植物的平均值相近^[24].

2.2 明火烟尘中正构脂肪酸的分子组成

在玉米秸秆的明火烟尘中,正构脂肪酸由 C₇ ~ C₃₄组成. 这与前人的研究结果基本一致^[2],也类似于煤和草的烟尘中正构脂肪酸的组成^[7,8]. 但与玉米秸秆相比,从烟尘中检出了碳数更低的 C₇. 烟尘中正构脂肪酸的平均总含量为13 895.0 mg·kg⁻¹. 其 L/H 的平均值为 1.1,明显大于秸秆. 表明在秸秆明火燃烧过程中新生成了部分低碳数的正构脂肪酸,而部分高碳数单体被消耗了. C₁₈/C₁₆的平均值为 0.33. 该值稍小于玉米秸秆,但明显大于木柴和叶状植物所产烟尘的相应值^[25]. C₂₄/C₁₆、C₂₄/C₁₈、

CAR 等的平均值分别为 0.17、0.50、1.2,均明显小于秸秆. 与玉米秸秆类似,明火烟尘中正构脂肪酸也表现出以 C₁₆、C₂₄为主、次峰碳数的双峰式分布模式. 其主峰碳数与草本植物烟尘、成熟煤烟尘、炊事油烟等的相同,但异于非成熟煤的烟尘^[7,8,26,27]. 其 CPI 的平均值为 4.5. 该值比秸秆大幅减小,也远小于草本植物、马铃薯秆和针叶树等生物质来源烟尘的 CPI 值^[7,17,18].

2.3 闷烧烟尘中正构脂肪酸的分子组成

在玉米秸秆的闷烧烟尘中,正构脂肪酸由 C₆ ~ C₃₄组成. 与明火烟尘相比,闷燃烟尘中 C₆ 和 C₇ 的含量大幅提高. 正构脂肪酸的平均总含量为 50 183.7 mg·kg⁻¹,是明火烟尘的 3.6 倍. 其 L/H 值的平均值为 1.3,明显大于秸秆和明燃烟尘. 表明湿

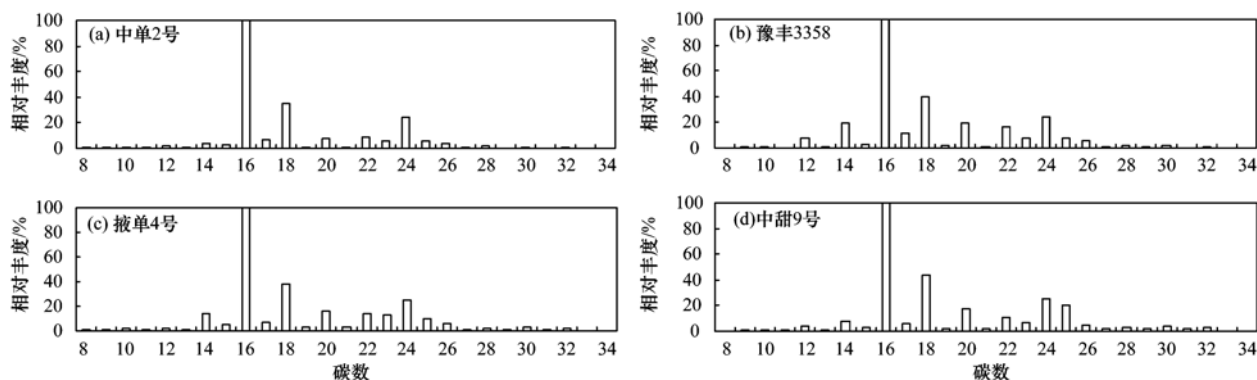


图1 玉米秸秆中正构脂肪酸单体的相对丰度分布

Fig. 1 Relative abundance distribution of individual *n*-alkanoic acids in maize straw

度较低的闷烧过程有利于低碳数正构脂肪酸的保存. C_{18}/C_{16} 的平均值为 0.33, 与明火烟尘的相等. C_{24}/C_{16} 的平均值为 0.20, 介于玉米秸秆和明火烟尘之间. C_{24}/C_{18} 的平均值为 0.60, 比秸秆稍小. CAR 的平均值为 1.6, 与秸秆非常接近. $C_6 \sim C_{34}$ 也具有与玉米秸秆和明火烟尘相同的双峰式分布模式. 其 CPI 的平均值为 6.1. 该值比秸秆稍大, 但明显大于明火烟尘, 处于无烟煤烟尘的变化区间^[28].

2.4 烟尘中正构脂肪酸的碳同位素

在玉米秸秆的明火烟尘中, $C_{14} \sim C_{26}$ 正构脂肪酸单体的平均碳同位素比值 ($\delta^{13}C$) 的变化区间为 $-21.0\text{‰} \sim -24.8\text{‰}$, 总平均值为 -23.5‰ . 总体而言, 不同碳数正构脂肪酸单体的 $\delta^{13}C$ 值变化趋势与玉米秸秆是一致的 (图 2). 但与秸秆相比, 明火烟尘中正构脂肪酸单体的碳同位素组成偏轻. 其与秸秆中正构脂肪酸单体平均 $\delta^{13}C$ 值之差 ($\Delta^{13}C$) 达 -0.7‰ . 表明明火烟尘中的正构脂肪酸发生了显著的碳同位素分馏. 在闷烧烟尘中, $C_{14} \sim C_{26}$ 正构脂肪酸单体 $\delta^{13}C$ 平均值的变化范围为 $-21.8\text{‰} \sim -25.4\text{‰}$, 总平均值为 -23.3‰ . 不同单体间 $\delta^{13}C$ 平均值的变化趋势也类似于玉米秸秆. 但与秸秆相

比, 闷烧烟尘中正构脂肪酸单体的碳同位素组成也是偏轻的. 其 $\Delta^{13}C$ 值为 -0.5‰ , 表明闷烧烟尘中的正构脂肪酸也发生了显著的碳同位素分馏. 但其分馏程度比明火燃烧有所减弱. 与其他 C_4 植物燃烧形成的烟尘相比^[19], 玉米秸秆烟尘中正构脂肪酸的碳同位素分馏程度要低得多.

2.5 识别指标的有效性

为了探讨玉米秸秆烟尘中正构脂肪酸在分子组成上的变化, 利用 CPI、L/H、 C_{18}/C_{16} 、 C_{24}/C_{16} 、 C_{24}/C_{18} 、CAR 等指标进行了讨论. 与秸秆相比, 明火烟尘和闷烧烟尘中的 6 个指标均发生了不同程度的变化. 两种烟尘的 C_{18}/C_{16} 平均值相等, 且均稍小于秸秆. 该比值落于机动车尾气的变化区间^[25], 故不能据此区分大气颗粒物中这两种来源的正构脂肪酸. 在闷烧烟尘和明火烟尘中, L/H 平均值均明显大于秸秆. 明火烟尘的 CPI、 C_{24}/C_{16} 、 C_{24}/C_{18} 、CAR 等指标的平均值均明显减小, 而闷烧烟尘的却变化较小. 由此可见, 在上述 6 个指标中, 除了 CPI 能够反映玉米秸秆烟尘中正构脂肪酸的分子组成特点外, 其余 5 个比值指标也是如此. 另外, 玉米秸秆烟尘的 C_{18}/C_{16} 值也说明, 用该比值识别大气气溶胶中

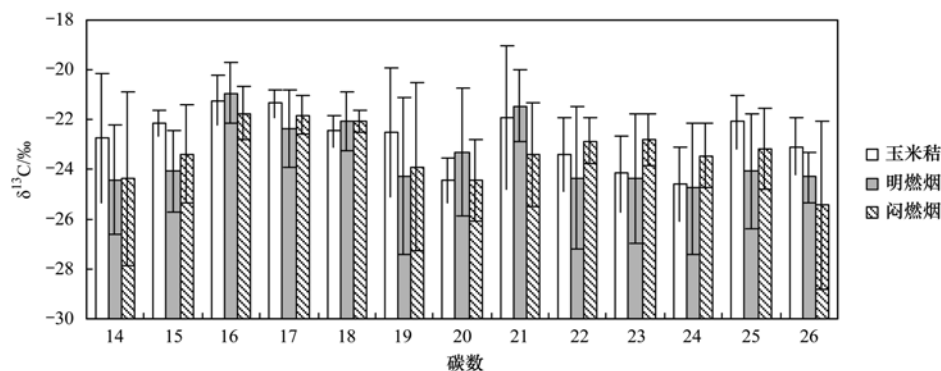


图2 玉米秸秆烟尘中正构脂肪酸碳同位素比值的变化趋势

Fig. 2 Variability of $\delta^{13}C$ values for *n*-alkanoic acids in smoke from maize straw

正构脂肪酸的来源时要慎重.

3 结论

(1) 玉米秸秆明火烟尘中的正构脂肪酸由 $C_7 \sim C_{34}$ 组成, 且呈现以 C_{16} 、 C_{24} 为主、次峰碳数的双峰式分布. 其 CPI 值比秸秆大幅减小. 明火烟尘中低碳数正构脂肪酸的相对含量比秸秆明显增加, 而 C_{24}/C_{16} 、 C_{24}/C_{18} 、CAR 等比值却明显减小. 闷烧烟尘中的正构脂肪酸由 $C_6 \sim C_{34}$ 组成. 它们也具有与明火烟尘相同的分布模式, 但 CPI 值比秸秆稍大. 闷烧烟尘中低碳数正构脂肪酸的相对含量明显高于明火烟尘, 但 C_{24}/C_{16} 、 C_{24}/C_{18} 、CAR 等指标与秸秆的相近. L/H 、 C_{24}/C_{16} 、 C_{24}/C_{18} 、CAR 等指标可用于识别大气气溶胶中玉米秸秆燃烧来源的正构脂肪酸.

(2) 与玉米秸秆相比, 其烟尘中 $C_{14} \sim C_{26}$ 正构脂肪酸均发生了明显的碳同位素分馏. 且明火燃烧更有利于同位素分馏的发生.

致谢: 姚祁芳、袁静、姚发来等同志参与了野外秸秆的采集, 作者在此表示感谢.

参考文献:

- [1] Cao G L, Zhang X Y, Wang Y Q, *et al.* Estimation of emissions from field burning of crop straw in China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2008, **53**(5): 784-790.
- [2] 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.
- [3] Choi J K, Ban S J, Kim Y P, *et al.* Molecular marker characterization and source appointment of particulate matter and its organic aerosols [J]. *Chemosphere*, 2015, **134**: 482-491.
- [4] Křůmal K, Mikuška P, Večeřa Z. Monosaccharide anhydrides, monocarboxylic acids and OC/EC in PM₁ aerosols in urban areas in the Czech Republic [J]. *Atmospheric Pollution Research*, 2015, **6**(6): 917-927.
- [5] Rogge W F, Hildemann L M, Mazurek M A, *et al.* Sources of fine organic aerosol. 4. Particulate abrasion products from leaf surfaces of urban plants [J]. *Environmental Science & Technology*, 1993, **27**(13): 2700-2711.
- [6] 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.
- [7] Oros D R, bin 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.
- [8] Oros D R, Simoneit B R T. Identification and emission rates of molecular tracers in coal smoke particulate matter [J]. *Fuel*, 2000, **79**(5): 515-536.
- [9] George I J, Black R R, Geron C D, *et al.* Volatile and semivolatile organic compounds in laboratory peat fire emissions [J]. *Atmospheric Environment*, 2016, **132**: 163-170.
- [10] Rogge W F, Hildemann L M, Mazurek M A, *et al.* Sources of fine organic aerosol. 2. Noncatalyst and catalyst-equipped automobiles and heavy-duty diesel trucks [J]. *Environmental Science & Technology*, 1993, **27**(4): 636-651.
- [11] Schauer J J, Kleeman M J, Cass G R, *et al.* Measurement of emissions from air pollution sources. 2. C_1 through C_{30} organic compounds from medium duty diesel trucks [J]. *Environmental Science & Technology*, 1999, **33**(10): 1578-1587.
- [12] Schauer J J, Kleeman M J, Cass G R, *et al.* Measurement of emissions from air pollution sources. 5. C_1 - C_{32} organic compounds from gasoline-powered motor vehicles [J]. *Environmental Science & Technology*, 2002, **36**(6): 1169-1180.
- [13] Rogge W F, Hildemann L M, Mazurek M A, *et al.* Sources of fine organic aerosol. 8. Boilers burning No. 2 distillate fuel oil [J]. *Environmental Science & Technology*, 1997, **31**(10): 2731-2737.
- [14] bin 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.
- [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] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] Ballentine D C, Macko S A, Turekian V C. Variability of stable carbon isotopic compositions in individual fatty acids from combustion of C_4 and C_3 plants: implications for biomass burning [J]. *Chemical Geology*, 1998, **152**(1-2): 151-161.
- [20] Ballentine D C, Macko S A, Turekian V C, *et al.* Compound specific isotope analysis of fatty acids and polycyclic aromatic hydrocarbons in aerosols: implications for biomass burning [J]. *Organic Geochemistry*, 1996, **25**(1-2): 97-104.
- [21] Liu G, Li J H, Xu H, *et al.* Isotopic compositions of elemental carbon in smoke and ash derived from crop straw combustion [J]. *Atmospheric Environment*, 2014, **92**: 303-308.
- [22] Wiesenberger G L B, Schwarzbauer J, Schmidt M W I, *et al.* Source and turnover of organic matter in agricultural soils derived from n -alkane/ n -carboxylic acid compositions and C-isotope signatures [J]. *Organic Geochemistry*, 2004, **35**(11-12): 1371-1393.
- [23] Wiesenberger G L B, Dorodnikov M, Kuzyakov Y. Source determination of lipids in bulk soil and soil density fractions after four years of wheat cropping [J]. *Geoderma*, 2010, **156**(3-4): 267-277.

- [24] Chikaraishi Y, Naraoka H. $\delta^{13}\text{C}$ and δD relationships among three *n*-alkyl compound classes (*n*-alkanoic acid, *n*-alkane and *n*-alkanol) of terrestrial higher plants [J]. *Organic Geochemistry*, 2007, **38**(2): 198-215.
- [25] Rogge W F, Medeiros P M, Simoneit B R T. Organic marker compounds for surface soil and fugitive dust from open lot dairies and cattle feedlots [J]. *Atmospheric Environment*, 2006, **40**(1): 27-49.
- [26] He L Y, Hu M, Huang X F, *et al.* Measurement of emissions of fine particulate organic matter from Chinese cooking [J]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38**(38): 6557-6564.
- [27] Zhao Y L, Hu M, Slanina S, *et al.* The molecular distribution of fine particulate organic matter emitted from Western-style fast food cooking [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(37): 8163-8171.
- [28] Bi X H, Simoneit B R T, Sheng G Y, *et al.* Characterization of molecular markers in smoke from residential coal combustion in China [J]. *Fuel*, 2008, **87**(1): 112-119.

《环境科学》征稿简则

1. 来稿报道成果要有创新性,论点明确,文字精炼,数据可靠.全文不超过8 000字(含图、表、中英文摘要及参考文献).国家自然科学基金项目、国家科技攻关项目、国际合作项目或其它项目请在来稿中注明(在首页以脚注表示).作者投稿时请先登陆我刊网站(www.hjkx.ac.cn)进行注册,注册完毕后以作者身份登录,按照页面给出的提示信息投稿即可.

2. 稿件请按GB 7713-87《科学技术报告、学位论文和学术论文的编写格式》中学术论文的规范撰写.论文各部分的排列顺序为:题目;作者姓名;作者工作单位、地址、邮政编码;中文摘要;关键词;中图分类号;英文题目;作者姓名及单位的英译名;英文摘要;关键词;正文;致谢;参考文献.

3. 论文题目应简练并准确反映论文内容,一般不超过20字,少用副标题.

4. 中文摘要不少于300字,以第三人称写.摘要内容包括研究工作的目的、方法、结果(包括主要数据)和结论,重点是结果和结论.英文摘要与中文对应,注意人称、时态和语言习惯,以便准确表达内容.

5. 前言包括国内外前人相关工作(引文即可)和本工作的目的、特点和意义等.科普知识不必赘述.

6. 文中图表应力求精简,同一内容不得用图表重复表达,要有中英文对照题目.图应大小一致,曲线粗于图框,图中所有字母、文字字号大小要统一.表用三线表.图表中术语、符号、单位等应与正文一致.

7. 计量单位使用《中华人民共和国法定计量单位》(SI).论文中物理计量单位用字母符号表示,如mg(毫克),m(米),h(小时)等.科技名词术语用国内通用写法,作者译的新名词术语,文中第一次出现时需注明原文.

8. 文中各级标题采用1,1.1,1.1.1的形式,左起顶格书写,3级以下标题可用(1),(2)……表示,后缩2格书写.

9. 文中外文字母、符号应标明其大小写,正斜体.生物的拉丁学名为斜体.缩略语首次出现时应给出中文全称,括号内给出英文全称和缩略语.

10. 未公开发表资料不列入参考文献,可在出现页以脚注表示.文献按文中出现的先后次序编排.常见文献书写格式为:

期刊:作者(外文也要姓列名前).论文名[J].期刊名,年,卷(期):起页-止页.

图书:作者.书名[M].出版地:出版社,年.起页-止页.

会议文集:作者.论文名[A].见(In):编者.文集名[C].出版地:出版社(单位),年.起页-止页.

学位论文:作者.论文名[D].保存地:保存单位,年份.

报告:作者.论文名[R].出版地:出版单位,出版年.

专利:专利所有者.专利题名[P].专利国别:专利号,出版日期.

11. 来稿文责自负,切勿一稿多投.编辑对来稿可作文字上和编辑技术上的修改和删节.在3个月内未收到本刊选用通知,可来电询问.

12. 投稿请附作者单位详细地址,邮编,电话号码,电子邮箱等.编辑部邮政地址:北京市2871信箱;邮编:100085;电话:010-62941102,010-62849343;传真:010-62849343;E-mail:hjkx@rcees.ac.cn;网址:www.hjkx.ac.cn

CONTENTS

Air Pollutant Emission Inventory and Impact of Typical Industries on PM _{2.5} in Chengde	CHEN Guo-lei, ZHOU Ying, CHENG Shui-yuan, <i>et al.</i> (4069)
Pollution Characteristics and Emission Coefficient of Volatile Organic Compounds from Woodwork-making Industry in Zhejiang Province	YAO Yi, WANG Zhe-ming, HE Zhi-qiao, <i>et al.</i> (4080)
Emission Inventory of Anthropogenic VOCs and Its Contribution to Ozone Formation in Shanxi Province	YAN Yu-long, PENG Lin (4086)
Characteristics and Source Apportionment of VOCs of High Pollution Process at Chemical Industrial Area in Winter of China	GAO Song, CUI Hu-xiong, FU Qing-yan, <i>et al.</i> (4094)
Study and Application of Test Method for VOCs Emission Factor of Refueling in Service Station	HUANG Yu-hu, CHANG Yao-qing, REN Bi-qi, <i>et al.</i> (4103)
NH ₃ Emission Characteristics in Landfill Sites in Beijing	CUI Tong, LI Jin-xiang, YANG Yan-yan, <i>et al.</i> (4110)
Inventory and Characteristics of Anthropogenic Ammonia Emission in Xi'an	SU Hang, YAN Dong-jie, HUANG Xue-min, <i>et al.</i> (4117)
Pollution Characteristics of Non-methane Hydrocarbons During Winter and Summer in Foshan City	ZHOU Xue-ming, XIANG Ping, DUAN Jing-chun, <i>et al.</i> (4124)
Water-soluble Inorganic Ions in the Road Ambient Atmospheric Particles of Tianjin	ZHAO Meng-xue, WU Lin, FANG Xiao-zhen, <i>et al.</i> (4133)
Characteristics of Nitrogen Deposition in Daiyun Mountain National Nature Reserve	YUAN Lei, LI Wen-zhou, CHEN Wen-wei, <i>et al.</i> (4142)
Microbial Activity in Bioaerosols in Winter at the Coastal Region of Qingdao	MENG Xiang-bin, LI Meng-zhe, LI Hong-tao, <i>et al.</i> (4147)
Molecular and Carbon Isotopic Compositions of <i>n</i> -Alkanoic Acids in Smoke from Maize Straw Combustion	LIU Gang, SUN Li-na, XU Hui, <i>et al.</i> (4156)
Gas Transfer Velocity of CH ₄ at Extremely Low Wind Speeds	ZHANG Cheng, LÜ Xin-biao, LONG Li, <i>et al.</i> (4162)
Spectral Characteristics of Chromophoric Dissolved Organic Matter (DOM) from a Typical Reservoir Lake from Inland of Three Gorges Reservoir Areas: In the View of Riparian Ecosystem Analysis	CHEN Xue-shuang, JIANG Tao, LU Song, <i>et al.</i> (4168)
Characteristics and Pollution Source Analysis of Nutrients in Tributary Outlets of Xitaoxi Watershed	CHEN Shi-wen, YUAN Xu-yin, JIN Jing, <i>et al.</i> (4179)
Analysis of Driving Factors on the Nitrogen Decrease in the Early Stage of the Thermal Stratification in Main Area of Zhoucun Reservoir	ZHANG Chun-hua, HUANG Ting-lin, FANG Kai-kai, <i>et al.</i> (4187)
Characteristics of Organic Phosphorus Fractions in the Sediments of the Black Water Aggregation in Lake Taihu	DONG Dan-ping, ZHANG Ting-xi, ZHANG Ding-yu, <i>et al.</i> (4194)
Impacts of Multiple Disturbance on Migration and Transformation of Endogenous Phosphorus in Lake	CAI Shun-zhi, LI Da-peng, WANG Ren, <i>et al.</i> (4203)
Change of Soil Nitrogen Leaching with Summer Maize Growing Periods Under Plastic Film Mulched Cultivation in Danjiangkou Reservoir Area, China	WANG Wei, YU Xing-xiu, HAN Qiang, <i>et al.</i> (4212)
Nutrients Recovery on the Growth of Nitrogen and Phosphorus Starved <i>Microcystis aeruginosa</i>	YUE Dong-mei, LI Jie, XIAO Lin (4220)
Inactivation Efficiency and Mechanism of Three Dominant Fungal Spores in Drinking Groundwater by Chlorine	WEN Gang, ZHU Hong, HUANG Ting-lin, <i>et al.</i> (4228)
Effect of Water Treatment Process on the Bacterial Multidrug Resistance in Drinking Water	MA Xiao-lin, LU Yang, WANG Yu, <i>et al.</i> (4235)
Characteristics of Disinfection By-products and Genotoxicity During Drinking Water Disinfection with Potassium Monopersulfate Compound Powder	AO Xiu-wei, LI Hao-jie, LIU Wen-jun, <i>et al.</i> (4241)
Heterogeneous Activation of Peroxymonosulfate with Three-dimensional Ordered Mesoporous Co ₃ O ₄ for the Degradation of Rhodamine B	FENG Shan-fang, DENG Si-ping, DU Jia-wen, <i>et al.</i> (4247)
Enhanced Mitigation of Membrane Fouling by Regulations on Floc Morphology in Electrocoagulation	ZHAO Kai, YANG Chun-feng, SUN Jing-qiu, <i>et al.</i> (4255)
Effect of Initial pH on Nitrogen Removal Performance and N ₂ O Emission of a Sequencing Batch CANON Reactor	FU Kun-ming, WANG Hui-fang, SU Xue-ying, <i>et al.</i> (4261)
Operational Characteristics of the Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal and Removal of Phthalate Esters by Three-dimensional Biofilm-electrode Coupled with Iron/Sulfur Reactor	ZHANG Ya, HAO Rui-xia, XU Peng-cheng, <i>et al.</i> (4268)
Phosphorus Removal Mechanism of Sulfur/Sponge Iron Composite Fillers Based on Denitrification	FAN Jun-hui, HAO Rui-xia, LI Meng, <i>et al.</i> (4275)
Optimization of Denitrifying Phosphorus Removal Performance Based on ABR-MBR Combined Process	CHENG Chao-yang, ZHAO Shi-hui, LÜ Liang, <i>et al.</i> (4282)
Effect of Moderate and Room Temperature on Nitrogen Removal in PN-ANAMMOX Process	YUAN Yan, ZHU Liang (4289)
Influence of Biological Activated Carbon on Simultaneous Nitrification and Denitrification in Inflow with Different C/N Ratios	CUI Yan-ni, QIU Xin, ZHANG Qing-rong, <i>et al.</i> (4296)
Biotransformation of Nitrate to Nitrogen Gas Driven by ANAMMOX Microbes via Zero-valent Iron Under Anaerobic Conditions	ZHOU Jian, WANYAN De-qing, HUANG Yong, <i>et al.</i> (4302)
A Comparative Study on Performance of an Intermittent Aeration SBR and a Traditional SBR for Treatment of Digested Piggery Wastewater	DONG Bao-gang, SONG Xiao-yan, LIU Rui, <i>et al.</i> (4309)
Biological Pre-treatment of Surplus Sludge Using the Protease-secreting Bacteria	HE Pin-jing, WANG Ying, HU Jie, <i>et al.</i> (4317)
Transfer and Fate of Polybrominated Diphenyl Ethers in an Electrical Equipment Dismantling Area Using a Multimedia Fugacity Model	XUE Nan-dong, CHEN Xuan-yu, YANG Bing, <i>et al.</i> (4326)
Distribution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Environmental Media in Nanning City	MIAO Ying, KONG Xiang-sheng (4333)
PBDEs Levels in House Dust and Human Exposure to PBDEs via Dust Ingestion in Hangzhou	JIN Man-tong, TENG Dan-dan, ZHENG Yan-xia, <i>et al.</i> (4341)
Evaluating Biochar-Water Sorption Coefficients of Pharmaceutically Active Compounds by Using a Linear Free Energy Relationship	WANG Jia-yi, BI Er-ping (4349)
Characteristics of Bacterial Communities in Surface-flow Constructed Wetlands	WEI Jia-ming, CUI Li-juan, LI Wei, <i>et al.</i> (4357)
Community Structure and Activity Analysis of the Nitrifiers in Raw Sewage of Wastewater Treatment Plants	YU Li-fang, DU Qian-qian, FU Xue-tao, <i>et al.</i> (4366)
Effects of Fertilization on Soil Microbial Abundance and Community Structure at DNA and cDNA Levels in Paddy Soils	WANG Cong, WU Ne, HOU Hai-jun, <i>et al.</i> (4372)
Effects of Bisphenol A on Characteristics of Paddy Soil Microbial Community Under Different Cultural Conditions	LIU Chang, HUANG Ya-dan, ZHANG Ying, <i>et al.</i> (4380)
Identification of a Facultative Bacterium Strain with the Ability to Methylate Mercury Under Both Aerobic and Anaerobic Conditions	TAO Lan-lan, XIANG Yu-ping, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (4389)
Distribution Characteristics of Antibiotic Resistance Genes in Vegetable Soils in Beijing	ZHANG Lan-he, WANG Jia-jia, HA Xue-jiao, <i>et al.</i> (4395)
Distribution Characteristics of Antibiotic Resistance Genes in Sika Deer Farm	HUANG Fu-yi, AN Xin-li, CHEN Qing-lin, <i>et al.</i> (4402)
Comparison of Toxic Effect of Siliceous Mineral Dusts on Lung Epithelial A549 Cells	HUO Ting-ting, DONG Fa-qin, DENG Jian-jun, <i>et al.</i> (4410)
Effect of Adding Compound Adsorbent on Phenanthrene and Cr(VI) Absorption by Lou Soil	LI Wen-bin, MENG Zhao-fu, WU Qiong, <i>et al.</i> (4419)
Effect of Biochar on Adsorption Behavior of Nonylphenol onto Loess Soil in Northwest China	ZHANG Zhen-guo, JIANG Yu-feng, MU Zhong-feng, <i>et al.</i> (4428)
Soil Respiration in Response to Different Ridge/Furrow Ratios and Its Relationship with Soil Moisture and Temperature Under Ridge-Furrow Planting Patterns	WANG Chang-jiang, SHI Cheng-xiao, FENG Fan, <i>et al.</i> (4437)
Effects of Straw in Combination with Reducing Fertilization Rate on Soil Nutrients and Enzyme Activity in the Paddy-Vegetable Rotation Soils	HUANG Rong, GAO Ming, WAN Yi-lin, <i>et al.</i> (4446)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 赵进才

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 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
赵进才 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)

2016年11月15日 第37卷 第11期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 11 Nov. 15, 2016

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	赵进才	Editor-in -Chief		ZHAO Jin-cai
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	中国国际图书贸易集团有限公司 (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