

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第12期

Vol.33 No.12

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

特别策划:再生水灌溉利用生态风险研究专题

序	陈卫平 (4069)
再生水灌溉利用的生态风险研究进展	陈卫平,张炜铃,潘能,焦文涛 (4070)
绿地再生水灌溉土壤微生物量碳及酶活性效应研究	潘能,侯振安,陈卫平,焦文涛,彭驰,刘文 (4081)
绿地再生水灌溉土壤盐度累积及风险分析	潘能,陈卫平,焦文涛,赵忠明,侯振安 (4088)
再生水灌溉对土壤性质及重金属垂直分布的影响	赵忠明,陈卫平,焦文涛,王美娥 (4094)
模型模拟再生水灌溉对土壤水盐运动的影响	吕斯丹,陈卫平,王美娥 (4100)
模型模拟土壤性质和植被种类对再生水灌溉水盐运移的影响	吕斯丹,陈卫平,王美娥 (4108)
再生水灌溉农田土壤镉累积规律模拟研究	赵忠明,陈卫平,焦文涛,王美娥 (4115)
再生水灌溉土壤人工合成麝香累积模型模拟	王美娥,陈卫平,焦文涛 (4121)
城市绿化草坪再生水灌溉对地下水水质影响研究	王巧环,陈卫平,王效科,任玉芬,张烨 (4127)
北京市再生水的公众认知度评估	张炜铃,陈卫平,焦文涛 (4133)

研究报告

北京地区臭氧时空分布特征的飞机探测研究	陈鹏飞,张蕾,权建农,高扬,黄梦宇 (4141)
世博会期间上海市大气挥发性有机物排放强度及污染源研究	王红丽,陈长虹,黄海英,王倩,陈宜然,黄成,李莉,张钢锋,陈明华,楼晟荣,乔利平 (4151)
贡嘎山本底站大气中 VOCs 的研究	张军科,王跃思,吴方堃,孙杰 (4159)
区域大气环境风险源识别与危险性评估	张晓春,陈卫平,马春,詹水芬,焦文涛 (4167)
稻草烟中正构烷烃和正构脂肪酸的碳同位素	刘刚,孙丽娜,李久海,徐慧 (4173)
汽油轿车 NEDC 循环超细颗粒物排放特性	胡志远,李金,谭丕强,楼狄明 (4181)
城市道路绿化带不同植物叶片附尘对大气污染的磁学响应	隆茜,周菊珍,孟颖,达良俊 (4188)
闽江口养殖塘水-大气界面温室气体通量日进程特征	杨平,仝川,何清华,黄佳芳 (4194)
模拟增温对冬小麦-大豆轮作农田土壤呼吸的影响	刘艳,陈书涛,胡正华,任景全,沈小帅 (4205)
广西大石围天坑中多环芳烃的大气传输与分异	孔祥胜,祁士华,孙莺,黄保健 (4212)
松花江流域冰封期水体中多环芳烃的污染特征研究	马万里,刘丽艳,齐虹,白杨,沈吉敏,陈忠林,李一凡 (4220)
温州城市河流中多环芳烃的污染特征及其来源	周婕成,陈振楼,毕春娟,吕金刚,许世远,潘琪 (4226)
温州城市河流河岸带土壤中 PAHs 的污染特征与来源	周婕成,毕春娟,陈振楼,王璐,许世远,潘琪 (4237)
辽河水系沉积物中 PAHs 的分布特征及风险评估	武江越,刘征涛,周俊丽,高富 (4244)
某炼油厂退役场地土壤与浅层地下水酚类污染特征研究	裴芳,罗泽娇,彭进进,祁士华 (4251)
某大型焦化企业污染场地中多环芳烃空间分布的分异性特征	刘庚,郭观林,南锋,魏文侠,李发生,毕如田 (4256)
太原市污灌区有机氯农药垂直分布特征及源解析	廖小平,张彩香,赵旭,向青清,李佳乐 (4263)
上海市崇明岛农田土壤中多环芳烃分布和生态风险评价	吕金刚,毕春娟,陈振楼,周婕成,韩景超 (4270)
近 50 年来深圳湾红树林湿地 Hg、Cu 累积及其生态危害评价	李瑞利,柴民伟,邱国玉,贺蓓 (4276)
北运河源头区沙河水库沉积物重金属污染特征研究	张伟,张洪,单保庆 (4284)
太湖表层沉积物重金属赋存形态分析及污染特征	秦延文,张雷,郑丙辉,曹伟 (4291)
典型季风型温冰川消融期融水化学日变化特征	朱国锋,蒲焘,何元庆,王培震,张建龙,张宁宁,辛惠娟 (4300)
螺-草水质净化系统氮素环境归趋的实验研究	周露洪,谷孝鸿,曾庆飞,毛志刚,高华梅,孙明波 (4307)
固定化果胶酶抑制铜绿微囊藻生长研究	沈清清,彭谦,赖泳红,纪开燕,韩秀林 (4316)
采用膜污染指数评估天然有机物在低压超滤膜中的污染行为	肖萍,肖峰,赵锦辉,秦潼,王东升,冯金荣,许光 (4322)
水体中甲基汞光化学降解特征研究	孙荣国,毛雯,马明,张成,王定勇 (4329)
土霉素在乙酸水溶液中的臭氧氧化降解研究	李时银,李小荣,朱怡苹,朱江鹏,王国祥 (4335)
酰胺咪唑光降解效能与机制及其影响因素研究	陈超,赵倩,封莉,张立秋 (4340)
利用 FeS 去除水中硝基苯的试验研究	王夏琳,李睿华 (4346)
地下污水管线泄漏原位自动监测模拟实验研究	郭磊,贾永刚,付腾飞,刘晓磊,赵战坤 (4352)
表面活性剂改性沸石对水中酚类化合物吸附性能研究	谢杰,王哲,吴德意,李春杰 (4361)
抗生素类制药废水厌氧消化产物急性毒性的检测	季军远,邢雅娟,郑平 (4367)
废砖块作为人工湿地填料的除磷能力研究	王振,刘超翔,李鹏宇,董健,刘琳,朱葛夫 (4373)
基于生物沸石复合滤料的间歇式脱氮水处理	庆承松,鲍韬,陈天虎,陈冬,谢晶晶 (4380)
硝酸盐对厌氧生物膜和颗粒污泥的同时产甲烷反硝化性能影响研究	钟晨宇,叶杰旭,李若愚,陈胜,孙德智 (4387)
水平电场作用下活性污泥的脱水研究	季雪元,王毅力,冯晶 (4393)
多重环境因子对氟胺磺隆在土壤中降解的影响	宋宁慧,单正军,石利利,郭敏,许静,孔德洋 (4400)
碱后处理对互花米草沼渣理化特性的影响研究	陈广银,郑正,常志州,王海芹,叶小梅 (4406)
含砷废渣高温烧结过程砷的矿物相结构变化与环境释放行为	王兴润,农泽喜,王琪 (4412)
国家大气污染物排放标准体系研究	江梅,张国宁,张明慧,邹兰,魏玉霞,任春 (4417)
环境基准向环境标准转化的机制探讨	毕岑岑,王铁宇,吕永龙 (4422)
对“有毒重金属”实施 2 种总量控制监管方式的利害分析	傅国伟 (4428)
《环境科学》第 33 卷(2012 年)总目录	(4434)
《环境科学》征订启事(4099)	
《环境科学》征稿简则(4166)	
信息(4180, 4219, 4225, 4275)	
专辑征稿通知(4172)	

稻草烟尘中正构烷烃和正构脂肪酸的碳同位素

刘刚, 孙丽娜, 李久海, 徐慧

(南京信息工程大学环境科学与工程学院, 南京 210044)

摘要: 为了查清稻草燃烧烟尘中正构烷烃和正构脂肪酸的碳同位素分馏状况, 对我国的 6 种稻草在明火燃烧和闷烧条件下进行室内模拟试验, 并测定了烟尘中两类有机物的单体碳同位素。结果表明, 在明火烟尘中, 正构烷烃和正构脂肪酸单体的 $\delta^{13}\text{C}$ 值分别为 $-28.6\text{‰} \sim -38.8\text{‰}$ 、 $-29.6\text{‰} \sim -41.9\text{‰}$; 正构烷烃和正构脂肪酸的平均碳同位素组成分别是 $-32.6\text{‰} \sim -36.4\text{‰}$ 、 $-34.0\text{‰} \sim -36.2\text{‰}$ 。在多数稻草的明火烟尘中, 正构烷烃总体上比秸秆内同碳数烷烃亏损 ^{13}C , 其 $\delta^{13}\text{C}$ 值最大相差 4.1‰ 。大部分正构脂肪酸的单体碳同位素组成比稻草重, 二者最大相差 6.3‰ 。在闷烧烟尘中, 正构烷烃和正构脂肪酸的单体 $\delta^{13}\text{C}$ 值分别为 $-31.7\text{‰} \sim -39.0\text{‰}$ 、 $-31.3\text{‰} \sim -38.8\text{‰}$; 正构烷烃和正构脂肪酸的平均碳同位素组成分别为 $-35.1\text{‰} \sim -36.4\text{‰}$ 、 $-34.4\text{‰} \sim -35.6\text{‰}$ 。在多数稻草的闷烧烟尘中, 正构烷烃的单体碳同位素组成比稻草轻, 二者最大相差 6.1‰ ; 而正构脂肪酸的单体碳同位素却比稻草重, 二者最大相差 8.4‰ 。稻草闷烧时排放的正构烷烃比明火燃烧时排放的更趋向于亏损 ^{13}C , 而高碳数 ($\geq \text{C}_{19}$) 正构脂肪酸的单体碳同位素组成呈现出比明火烟尘偏重的趋势。在稻草烟尘中, 正构烷烃和正构脂肪酸的单体碳同位素组成与未燃烧稻草中的对应化合物有显著差别。烟尘中两类有机物相对于稻草而发生了方向相反的碳同位素分馏。

关键词: 稻草; 烟尘; 正构烷烃; 正构脂肪酸; 碳同位素

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)12-4173-08

Carbon Isotopic Compositions of *n*-Alkanes and *n*-Alkanoic Acids in the Smoke from Combustion of Rice Straw

LIU Gang, SUN Li-na, LI Jiu-hai, XU Hui

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

Abstract: In order to investigate the carbon isotopic fractionation in *n*-alkanes and *n*-alkanoic acids in smoke from rice straw combustion, six types of rice straw were burned in laboratory under flaming and smoldering conditions, and the compound specific isotopic compositions for the two classes of biomarkers in the smoke were determined. The results showed that the $\delta^{13}\text{C}$ values of individual *n*-alkanes and *n*-alkanoic acids released from flaming burns of all the rice species ranged from -28.6‰ to -38.8‰ and from -29.6‰ to -41.9‰ , respectively, and that the mean $\delta^{13}\text{C}$ values for the two compound classes in the flaming smoke for the six types of rice straw were in the range of -32.6‰ to -36.4‰ and -34.0‰ to -36.2‰ , respectively. Moreover, the *n*-alkanes in the smoke from the most straws were more depleted in ^{13}C in general than the identical substances with equal carbon number in corresponding unburned biomass. The magnitude of the isotopic discrimination (Δ) was up to 4.1‰ . Conversely, the *n*-alkanoic acids in the smoke tended to be more enriched in ^{13}C than the corresponding biomarkers in the unburned straw for all of the species, and the Δ was up to 6.3‰ . The $\delta^{13}\text{C}$ values of the individual *n*-alkanes and *n*-alkanoic acids in the smoke from smoldering burns of the six species varied between -31.7‰ and -39.0‰ and between -31.3‰ and -38.8‰ , respectively. The average values for the two compound classes in the smoke for a species were in the range of -35.1‰ to -36.4‰ and -34.4‰ to -35.6‰ , respectively. The compound specific $\delta^{13}\text{C}$ values of the *n*-alkanes in the smoke for most species were smaller than those of the same substances in the corresponding rice straw, and the greatest Δ was 6.1‰ . However, the $\delta^{13}\text{C}$ values of *n*-alkanoic acids in the smoke were greater than those in the rice straw, and the Δ was up to 8.4‰ . The *n*-alkanes from the smoldering burn were more depleted in ^{13}C than those from the flaming burn of the identical rice species, whereas the *n*-alkanoic acids ($\geq \text{C}_{19}$) more enriched in ^{13}C . These results suggest that there is significant difference in the carbon isotopic composition of individual *n*-alkanes or *n*-alkanoic acids in the smoke derived from rice straw combustion and the unburned biomass, and that converse carbon isotopic fractionation occurs in the two compound classes in the smoke relative to those in the rice straw.

Key words: rice straw; smoke; *n*-alkane; *n*-alkanoic acid; carbon isotope

正构烷烃和正构脂肪酸是大气颗粒物中常见的有机污染物^[1-7]。它们可来源于植物、微生物,以及化石燃料和生物质等的不完全燃烧过程^[5,8,9]。如何有效识别这些污染物的来源,一直以来都是空气污染研究的一项重要内容。稳定碳同位素经常被用来

识别大气污染物来源^[10-13]。因此,明确各种排放源

收稿日期: 2012-02-19; 修订日期: 2012-04-04

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

有机物的碳同位素组成,对判别气溶胶中污染物的来源至关重要. 作物秸秆露天焚烧是世界范围内普遍存在的现象. 秸秆在燃烧过程中会向大气排放正构烷烃和正构脂肪酸等污染物,已成为大气中这两类污染物的重要来源之一^[14~19]. 对 C_3 植物中这两类有机物的碳同位素组成已开展过大量的研究^[20~25]. 然而,对植物燃烧烟尘中的正构烷烃和正构脂肪酸,仅进行了初步的相关研究^[26~28],故对其碳同位素分馏状况还不甚明了. 前人在探讨生物质烟尘中正构烷烃的同位素组成时,仅在高温燃烧条件下进行了试验,而没有对低温燃烧条件下的同位素分馏进行研究. 此外,对稻草在不同燃烧条件下排放烟尘中的正构烷烃和正构脂肪酸,基本上还没有开展有关工作. 生物质在露天焚烧时往往存在高温燃烧和低温燃烧等两种燃烧过程. 只有通过研究秸秆在不同燃烧条件下排放烟尘中有机物的碳同位素组成,才能比较全面地了解其碳同位素分馏状况. 水稻是我国的主要粮食作物之一. 开展此方面的研究,有助于以碳同位素技术识别大气气溶胶中稻草燃烧来源的正构烷烃和正构脂肪酸.

1 材料与方法

1.1 秸秆采集与制备

2010 年从浙江省临海、安徽省舒城、江苏省邳州等地各采集了 2 个品种的稻草. 3 个采样地的稻草品种分别是内 2 优 6 与扬两优 6、Ⅱ优 279 与宁粳 1、红粮 166 与Ⅱ优 728.

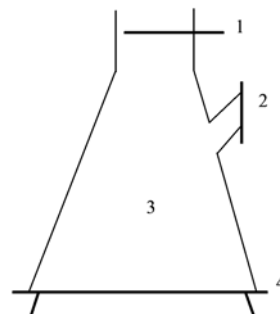
制备粉末样品时,取稻草 10 株,剪至 3 cm 长的小段,用清水洗去表面的泥土. 将洁净的碎样在 50℃ 烘烤 12 h,用粉碎机粉碎至 60 目,装入具塞三角烧瓶保存. 对于焚烧用的稻草,首先在室内自然风干,临烧前再拣去杂物,抖去灰尘.

1.2 燃烧条件和烟尘采集

模拟秸秆的两种焚烧方式,明火燃烧和闷烧,进行室内燃烧试验. 在模拟明火燃烧时,取稻草 1.0 kg,自然堆放在一起点燃. 闷烧时取稻草 0.2 kg,放入闷烧装置(图 1). 该装置底盘上有进风孔,底盘可与炉膛分离. 把稻草放入炉膛内,将底盘与炉膛安装在一起. 用丁烷打火机从底盘进风孔点燃秸秆,使烟气从烟道口冒出. 通过调节挡板来控制进入燃烧室的空气量,使燃烧过程不产生火焰.

采样前将一台小流量大气颗粒物采样器(Andersen, AH-200 型)放置在距稻草燃烧位置 1 m 远处. 在点燃稻草后开机采集排放到室内空气中的

烟尘. 采样期间保持门窗基本关闭,以减少烟尘散失. 采样所用的玻璃纤维滤膜在使用前于 500℃ 灼烧 2 h. 烟尘样品用铝箔(在 500℃ 灼烧 2 h)包裹,在冰箱中冷冻保存.



1. 挡板; 2. 观察窗; 3. 燃烧室; 4. 底盘

图 1 秸秆焚烧炉结构示意图

Fig. 1 Diagram of combustion furnace

1.3 有机物提取与碳同位素测定

称取稻草粉末 1 g 或者取采集了烟尘的滤膜 1/2 张,加入二氯甲烷/甲醇混合液(2:1, 体积比) 15 mL,在室温下超声振荡 15 min,共重复提取 2 次. 合并萃取液,用旋转蒸发器浓缩至 3 mL,再用氮吹仪浓缩至 1 mL. 将浓缩液滴加于硅胶柱上,依次用 30 mL 正己烷和甲醇洗脱烷烃和有机酸. 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. 再在室温下加入 3% (质量比) 蒸馏水去活化,平衡 24 h. 用旋转蒸发器浓缩各部分洗脱液,再用氮吹仪吹至近干. 脂肪酸用 $BF_3/MeOH$ 试剂(200 μL)进行甲酯化衍生,衍生温度 70℃,衍生时间 2 h. 衍生完成后吹至近干.

用气相色谱/稳定同位素在线分析系统(GC/C/IRMS, Delta plus XP 型)测定正构烷烃和正构脂肪酸甲酯的单体碳同位素比值. 衍生试剂 $BF_3/MeOH$ 中甲醇的碳同位素比值用离线质谱仪(Finnigan MAT-252 型)测量. 测量前在 800℃ 氧化甲醇,生成的 CO_2 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^[27]. 离线测量的仪器标准偏差 <0.3‰,在线测量的标准偏差为 0.5‰.

2 结果与讨论

2.1 正构烷烃的碳同位素组成

与稻草中原来的正构烷烃相比,在明火燃烧或闷烧排放的烟尘中,正构烷烃的单体碳同位素组成

均发生了不同程度的变化(表1). 在6种稻草明火燃烧产生的烟尘中, $C_{20} \sim C_{33}$ 正构烷烃单体 $\delta^{13}C$ 值分布于 $-28.6\text{‰} \sim -38.8\text{‰}$, 变化幅度较大. 各品种稻草烟尘中正构烷烃的平均碳同位素组成为 $-32.6\text{‰} \sim -36.4\text{‰}$, 变化幅度相对较小. 在多数明火烟尘中高碳数正构烷烃($C_{25} \sim C_{33}$)的平均碳同位素组成比低碳数正构烷烃($C_{20} \sim C_{24}$)重(图2). 在内2优6和宁梗1等品种稻草的明火烟尘中, 正构烷烃单体总体比秸秆中同碳数正构烷烃富集 ^{13}C (图3), 其 $\delta^{13}C$ 值最大相差(Δ) 4.8‰ . 其余4个品种稻草的明火烟尘中, 正构烷烃单体总体上比秸秆中相应化合物亏损 ^{13}C , 其 Δ 值为 $-0.1\text{‰} \sim -4.1\text{‰}$. 虽然O'Malley等^[26]对 C_3 植物的燃烧试验表明, 烟气中正构烷烃($C_{20} \sim C_{30}$)的碳同位素组成与植物中原有烷烃的相似, 但上述对稻草(C_3 植物)的明火燃烧试验证明, C_3 植物在高温下燃烧时排放的高碳数烷烃会发生明显的同位素分馏. 这种差异可能与本研究的燃烧条件和O'Malley等的不同有

关. 他们是在 900°C 或 700°C , 且空气量供应不足的情况下燃烧生物质的.

6种稻草在闷烧时排放的正构烷烃($C_{20} \sim C_{33}$)的单体 $\delta^{13}C$ 值为 $-31.7\text{‰} \sim -39.0\text{‰}$, 变化幅度也比较大. 各品种秸秆闷烧烟尘中正构烷烃的平均 $\delta^{13}C$ 值为 $-35.1\text{‰} \sim -36.4\text{‰}$, 不同品种间的差别很小. 在3个品种的烟尘中高碳数正构烷烃平均碳同位素组成明显比低碳数正构烷烃轻, 而在另外3个品种的闷烧烟尘中则无显著差别(图2). 就单体碳同位素而言, 稻草闷烧时排放的绝大多数正构烷烃比明火燃烧时排放的同碳数正构烷烃更亏损 ^{13}C (图3), 二者的 Δ 值为 $-0.3\text{‰} \sim -9.1\text{‰}$. 在内2优6和宁梗1等品种稻草的闷烧烟尘中, $C_{29} \sim C_{33}$ 正构烷烃比相应稻草中同碳数正构烷烃富集 ^{13}C , 其 Δ 值为 $0.3\text{‰} \sim 3.9\text{‰}$, 而其他碳数的正构烷烃基本上都相对亏损 ^{13}C . 在其他4种稻草的闷烧烟尘中, 正构烷烃普遍比相应稻草亏损 ^{13}C , 其 Δ 值为 $-0.3\text{‰} \sim -6.1\text{‰}$.

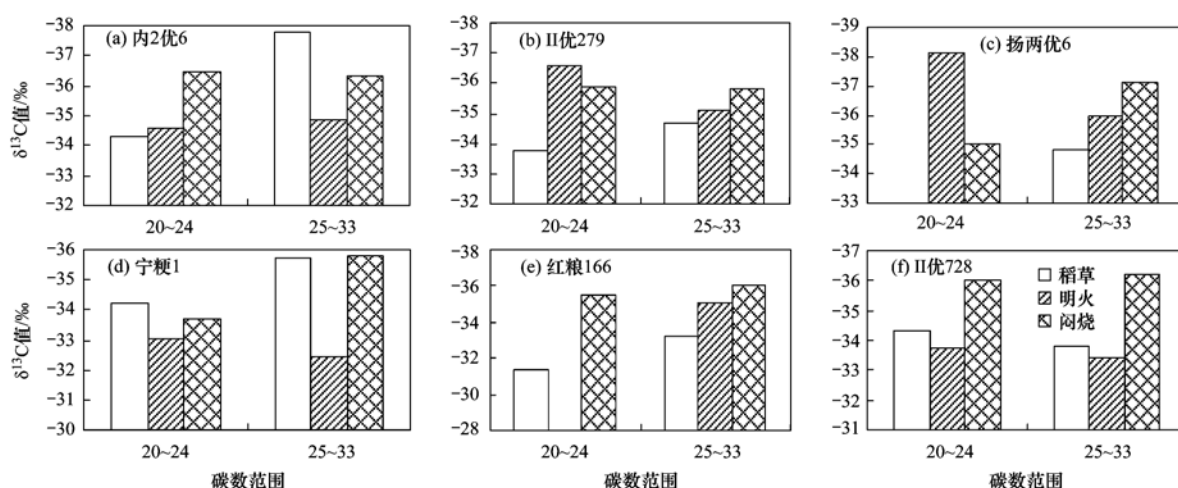


图2 正构烷烃碳同位素组成柱状图

Fig. 2 Histogram of carbon isotope composition in *n*-alkanes

2.2 正构脂肪酸的碳同位素组成

在所有稻草明火燃烧产生的烟尘中, $C_{12} \sim C_{32}$ 正构脂肪酸单体 $\delta^{13}C$ 值的变化较大, 其分布区间是 $-29.6\text{‰} \sim -41.9\text{‰}$ (表2). $C_{12} \sim C_{18}$ 正构脂肪酸的平均碳同位素组成明显比 $C_{19} \sim C_{32}$ 正构脂肪酸重(图4), 二者的 Δ 值为 $1.0\text{‰} \sim 3.7\text{‰}$. 各品种稻草明火烟尘中正构脂肪酸的平均碳同位素组成却很相近, 为 $-34.0\text{‰} \sim -36.2\text{‰}$, 且比稻草中原正构脂肪酸的平均碳同位素比值重 $0.6\text{‰} \sim 1.9\text{‰}$.

明火烟尘中正构脂肪酸的单体碳同位素组成随碳数的变化趋势与稻草中原有正构脂肪酸的非常相

似(图5). 高碳数($> C_{18}$)正构脂肪酸的碳同位素组成明显比低碳数的轻. 在明火烟尘中, 内2优6稻草来源的 C_{21} 、 C_{25} 、 C_{26} , Ⅱ优279稻草来源的 C_{20} 、 C_{22} 、 C_{23} 、 C_{24} , 红粮166稻草来源的 C_{21} 、 C_{28} , 宁梗1稻草来源的 C_{19} 、 C_{22} , 以及Ⅱ优728稻草来源的 C_{30} 等少数正构脂肪酸, 均比未燃烧稻草中的对应有机物亏损 ^{13}C , 其 Δ 值为 $-0.3\text{‰} \sim -5.5\text{‰}$. 除此之外, 其他正构脂肪酸均比稻草中同碳数正构脂肪酸富集 ^{13}C , 其 Δ 值为 $0.0\text{‰} \sim 6.3\text{‰}$.

在所有稻草的闷烧烟尘中, 正构脂肪酸单体($C_{12} \sim C_{32}$)的 $\delta^{13}C$ 值为 $-31.3\text{‰} \sim -38.8\text{‰}$ (表2),

表 1 稻草和烟尘中正构烷烃的单体碳同位素组成 (PDB)/‰

Table 1 Carbon isotopic composition of individual <i>n</i> -alkanes in rice straw and the smoke (PDB)/‰											
品种	内 2 优 6 稻草	明火	闷烧	II 优 279 稻草	闷烧	扬两优 6 稻草	明火	闷烧	宁梗 1 稻草	明火	闷烧
C ₂₀	-33.2	-33.8	-36.9	-33.4	-34.3	-32.7	-32.7	-31.7	-32.1	-33.2	-34.8
C ₂₁	-34.4	-33.5	-36.6	-35.3	-35.3	-34.0	-34.0	-31.5	-32.6	-36.9	-37.6
C ₂₂	-34.5	-33.5	-35.6	-34.2	-37.4	-35.7	-38.3	-31.6	-30.4	-36.5	-35.8
C ₂₃	-34.5	-36.4	-36.1	-34.2	-37.8	-36.5	-37.4	-36.0	-31.8	-35.3	-33.9
C ₂₄	-35.2	-34.6	-37.2	-34.6	-34.5	-37.5	-37.9	-32.8	-30.2	-35.6	-32.4
C ₂₅	-36.2	-34.8	-36.9	-34.6	-34.7	-38.4	-35.8	-31.8	-33.9	-37.4	-38.3
C ₂₆	-36.8	-35.1	-36.3	-34.8	-35.9	-35.9	-36.1	-33.3	-36.4	-36.1	-31.9
C ₂₇	-36.8	-35.5	-37.4	-34.8	-35.8	-35.5	-34.2	-33.6	-33.3	-35.5	-36.3
C ₂₈	-36.2	-33.2	-36.2	-35.3	-35.3	-35.7	-35.7	-32.7	-35.7	-36.3	-34.0
C ₂₉	-36.6	-34.8	-36.3	-34.6	-34.5	-35.1	-33.1	-32.6	-35.2	-33.1	-32.2
C ₃₀	-34.3	-33.4	-34.3	-34.2	-34.3	-37.5	-36.1	-33.6	-34.3	-35.6	-32.4
C ₃₁	-39.0	-35.3	-36.5	-35.5	-35.7	-36.0	-35.0	-32.9	-34.5	-36.1	-33.8
C ₃₂	-35.9	-35.9	-36.8	-35.0	-35.0	-37.0	-36.8	-32.9	-36.6	-36.1	-34.1
C ₃₃	-40.2	-35.8	-36.3	-34.6	-35.7	-33.1	-35.8	-28.6	-37.7	-36.6	-32.8
AV ¹⁾	-36.2	-34.8	-36.4	-34.5	-35.5	-35.8	-34.8	-32.6	-35.1	-35.8	-33.5

1) AV 为 C₂₀ ~ C₃₃ 的碳同位素平均值表 2 稻草和烟尘中正构脂肪酸的单体碳同位素组成 (PDB)¹⁾/‰

Table 2 Carbon isotopic composition of individual <i>n</i> -alkanoic acids in rice straw and the smoke (PDB)/‰											
品种	内 2 优 6 稻草	明火	闷烧	II 优 279 稻草	闷烧	扬两优 6 稻草	明火	闷烧	宁梗 1 稻草	明火	闷烧
C ₁₂	-37.8	-33.1	-35.6	-35.4	-33.9	-35.5	-36.9	-34.7	-35.6	-37.3	-34.8
C ₁₃	-34.2	-34.2	-33.8	-33.7	-32.0	-31.9	-35.6	-35.8	-33.8	-36.3	-34.8
C ₁₄	-36.7	-34.3	-34.9	-33.7	-33.7	-33.9	-36.6	-35.8	-34.0	-35.5	-34.5
C ₁₅	-35.1	-34.1	-33.8	-32.3	-32.0	-32.6	-35.5	-35.2	-33.5	-34.5	-33.2
C ₁₆	-35.4	-34.2	-35.3	-34.6	-33.6	-34.3	-34.8	-34.6	-34.1	-33.7	-33.3
C ₁₇	-36.0	-34.7	-35.2	-34.7	-33.8	-34.8	-36.9	-35.3	-34.1	-36.5	-35.1
C ₁₈	-35.9	-34.1	-35.0	-34.9	-34.8	-33.9	-36.0	-34.5	-33.8	-34.7	-33.9
C ₁₉	-37.1	-35.3	-34.3	-34.8	-35.1	-35.1	-39.7	-36.9	-31.3	-38.0	-36.6
C ₂₀	-38.9	-37.2	-36.4	-36.5	-37.0	-35.7	-39.0	-37.3	-36.6	-38.7	-36.3
C ₂₁	-38.9	-39.5	-35.4	-35.7	-34.5	-34.3	-41.3	-35.0	-33.7	-37.1	-34.0
C ₂₂	-38.1	-37.2	-35.7	-36.3	-39.2	-34.4	-39.8	-37.0	-34.2	-37.9	-34.5
C ₂₃	-38.5	-35.3	-37.0	-36.5	-36.9	-35.4	-41.0	-37.2	-36.3	-37.9	-34.3
C ₂₄	-38.2	-36.9	-36.6	-35.7	-38.0	-34.3	-39.2	-37.3	-36.7	-36.4	-34.8
C ₂₅	-37.2	-39.9	-34.8	-36.1	-36.9	-36.9	-40.7	-36.9	-36.9	-34.9	-35.6
C ₂₆	-36.4	-41.9	-36.5	-34.8	-38.7	-38.7	-38.0	-36.1	-36.9	-36.2	-34.5
C ₂₇	-38.9	-34.9	-35.0	-35.3	-34.5	-34.5	-38.8	-38.2	-36.5	-40.2	-34.7
C ₂₈	-36.4	-37.5	-36.1	-37.8	-37.2	-37.2	-37.2	-36.1	-35.0	-35.0	-34.3
C ₂₉	-37.5	-38.3	-38.8	-39.0	-33.4	-33.9	-36.0	-35.1	-34.1	-35.5	-34.2
C ₃₀	-36.1	-37.9	-36.1	-36.2	-37.1	-35.1	-39.5	-37.1	-35.4	-38.2	-33.8
C ₃₁	-37.4	-36.1	-35.6	-35.5	-34.9	-34.5	-38.1	-36.2	-34.9	-37.2	-35.5
C ₃₂	-39.0	-39.0	-36.7	-39.0	-34.9	-34.5	-38.1	-36.2	-34.9	-37.2	-35.5
AV ₁	-36.1	-37.6	-36.1	-36.2	-33.4	-33.9	-36.0	-35.1	-34.1	-35.5	-34.2
AV ₂	-37.9	-37.9	-36.1	-36.2	-37.1	-35.1	-39.5	-37.1	-35.4	-38.2	-33.8
AV ₃	-37.4	-36.1	-35.6	-35.5	-34.9	-34.5	-38.1	-36.2	-34.9	-37.2	-35.5

1) AV₁ 为 C₁₂ ~ C₁₈ 的碳同位素平均值; AV₂ 为 C₁₉ ~ C₃₂ 的碳同位素平均值; AV₃ 为 C₁₂ ~ C₃₂ 的碳同位素平均值

与明火烟尘中正构脂肪酸单体的对应值分布区间不完全一致。 $C_{12} \sim C_{18}$ 正构脂肪酸的平均碳同位素组成比 $C_{19} \sim C_{32}$ 正构脂肪酸重 $1.2\text{‰} \sim 2.4\text{‰}$, 其变化趋势与稻草和明火烟尘的一致(图 4)。各品种稻草闷烧烟尘中正构脂肪酸的平均碳同位素比值为 $-34.4\text{‰} \sim -35.6\text{‰}$, 与明火燃烧烟尘中正构脂肪

酸的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值极为相似。除了 II 优 728 稻草闷烧烟尘中正构脂肪酸的平均碳同位素组成比原稻草中的正构脂肪酸轻 0.2‰ 之外, 在其他品种稻草的闷烧烟尘中, 正构脂肪酸的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值不仅均比原稻草的正构脂肪酸大 $1.0\text{‰} \sim 3.2\text{‰}$, 而且也大于明火燃烧烟尘中正构脂肪酸的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值。

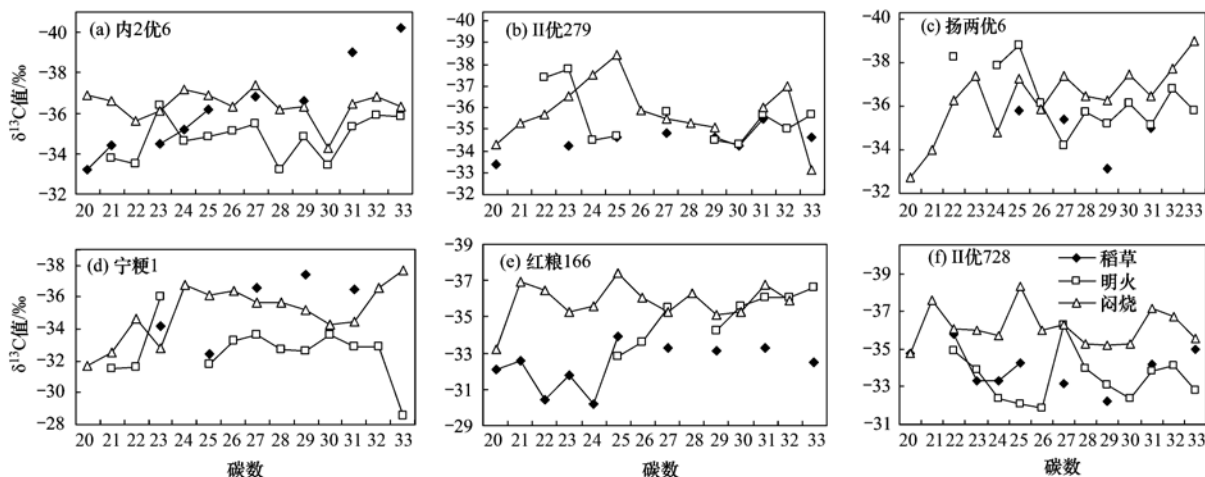


图 3 正构烷烃的单体碳同位素分布

Fig. 3 Carbon isotopic distribution of individual *n*-alkanes

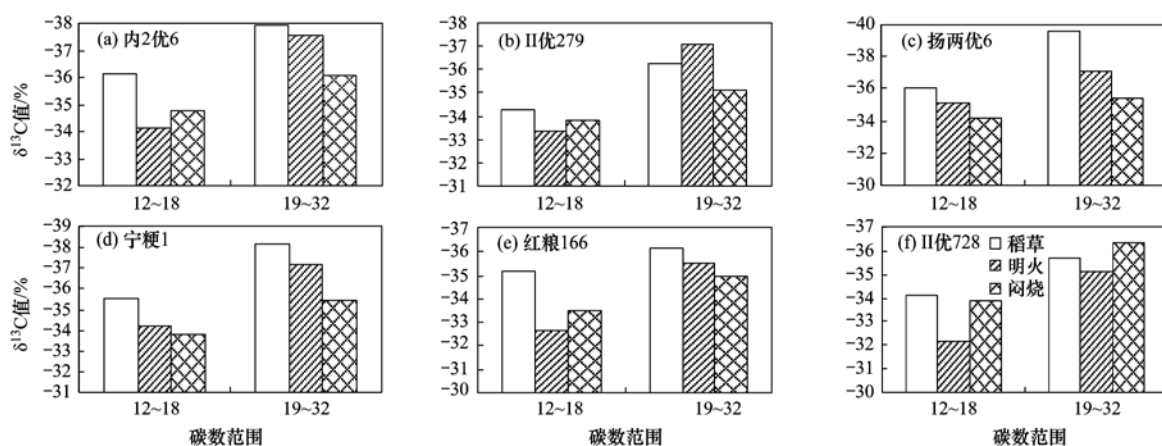


图 4 正构脂肪酸碳同位素组成

Fig. 4 Histogram of carbon isotope composition in *n*-alkanoic acids

不同品种稻草闷烧烟尘中正构脂肪酸的单体碳同位素分布与稻草中原有机物的关系不完全相似(图 5)。在 II 优 728 稻草闷烧烟尘中, 大多数正构脂肪酸的单体碳同位素组成比相应稻草中同碳数正构脂肪酸轻 $0.1\text{‰} \sim 2.3\text{‰}$ 。可是在其他 5 个品种稻草的闷烧烟尘中, 正构脂肪酸单体碳同位素几乎都比稻草中原有机物重 $0.1\text{‰} \sim 8.4\text{‰}$ 。

与明火燃烧产生的烟尘相比, II 优 728 稻草闷烧烟尘中正构脂肪酸单体普遍亏损 ^{13}C , 而其他 5 种稻草闷烧烟尘中正构脂肪酸单体碳同位素的分布却

与之不同。这主要表现在 $C_{12} \sim C_{18}$ 正构脂肪酸单体的 $\delta^{13}\text{C}$ 值在有的稻草闷烧烟尘中相对偏大, 而在有的稻草闷烧烟尘中相对偏小, 其 Δ 值为 $-3.7\text{‰} \sim 2.6\text{‰}$ 。另外, $C_{19} \sim C_{32}$ 正构脂肪酸单体碳同位素组成总体保持比明火燃烧烟尘偏重的趋势, 其 Δ 值主要分布在 $0.2\text{‰} \sim 5.6\text{‰}$ 之间。Ballentine 等^[27] 对桉树叶 (C_3 植物) 的焚烧试验结果表明, 气溶胶中脂肪酸的碳同位素组成比未燃烧植物中的脂肪酸重。在本焚烧试验中, 有 5 种稻草的结果与之总体相符, 但 II 优 728 稻草的闷烧试验结果与之相反。

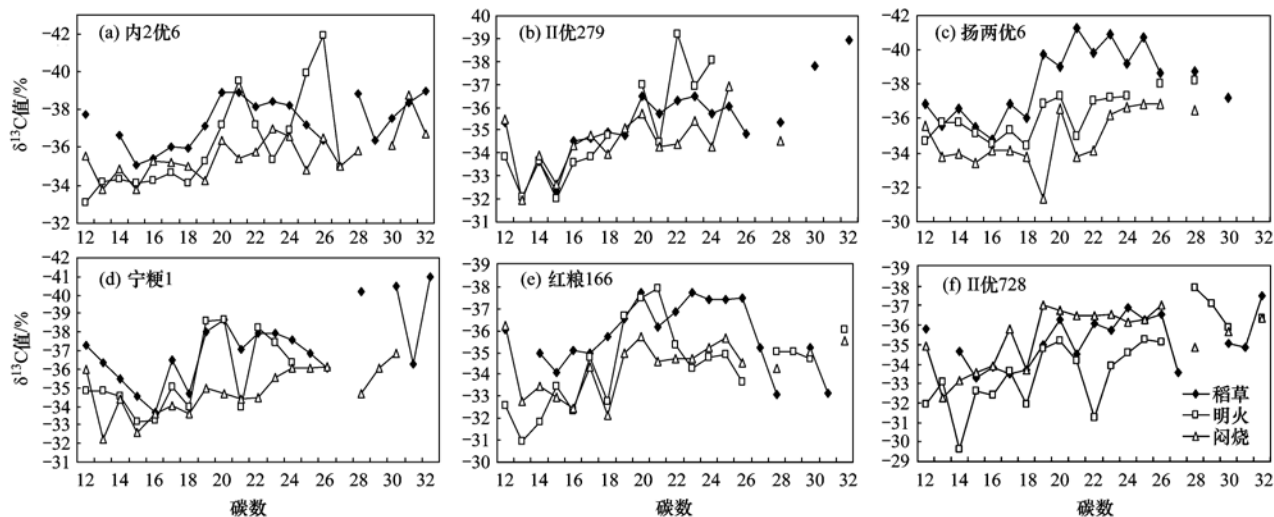


图5 正构脂肪酸的单体碳同位素分布

Fig. 5 Carbon isotopic distribution of individual *n*-alkanoic acids

2.3 碳同位素分馏原因探讨

生物质燃烧过程中发生的碳同位素分馏,目前有不同的机制来解释. O'Malley 等^[26]认为,生物质燃烧烟尘中高碳数正构烷烃的碳同位素组成,是生物质中原正构烷烃和燃烧新生成正构烷烃混合的结果. 烟尘中脂肪酸的碳同位素分馏主要用蒸馏、择优氧化、化学降解等假设来解释^[27]. 生物质燃烧过程中有机物因蒸馏或选择性氧化而发生同位素动力学分馏,使烟尘中脂肪酸的碳同位素组成发生改变. 化学降解的观点认为,在植物中存在无法用溶剂直接萃取的蜡质,在燃烧过程中这些蜡质因发生降解而释放出脂肪酸. 由于这类脂肪酸与溶剂可萃取脂肪酸之间存在碳同位素组成上的不同,故造成了烟尘中脂肪酸与植物中游离态脂肪酸同位素组成的差别. 作物秸秆中挥发分含量高达60%~70%. 挥发分完全燃烧所需要的氧气量远大于外界扩散所能供应的量,因而实际焚烧时因供氧量不足使较多的挥发分不能彻底氧化,结果形成多种中间产物^[29]. 植物中除了纤维素、半纤维素、木质素等主要成分之外,还含有单糖、脂肪醇、甾醇等多种次要成分,而这些有机物的碳同位素组成之间有一定差异^[24,25,30~32]. 生物质的燃烧过程同时伴随着有机物的气化、分解和生成. 这为发生碳同位素动力学分馏创造了条件. 明火燃烧条件下稻草在几分钟内化为灰烬,而闷烧则需要持续20 min以上才能把稻草烧完. 因此,在烟尘中肯定有一部分正构烷烃和正构脂肪酸是稻草中原有的有机物. 与明火燃烧相比,闷烧时稻草的燃烧速度更慢,更有利于烷烃和脂

肪酸的气化,使烟尘中直接来源于稻草的两类有机物比例更高. 如果燃烧过程中没有发生碳同位素分馏,那么闷烧烟尘中正构烷烃的 $\delta^{13}\text{C}$ 值应该更加接近稻草中对应化合物的原值. 可是上述试验结果显示,稻草闷烧烟尘中正构烷烃比明火烟尘更加亏损 ^{13}C . 另外,加热有利于长链烷烃分解成短链烷烃. 由此推断,明火燃烧和闷烧烟尘中正构烷烃的碳同位素组成发生偏离,主要原因是稻草中正构烷烃在气化过程中发生了同位素动力学分馏,并且闷烧比明火燃烧更有利于碳同位素分馏的发生. 不过,究竟是以正构烷烃本身在气固两相间发生的碳同位素分馏为主,还是与其他有机物间发生的分馏为主,还有待进一步研究.

C_3 植物中存在两种赋存状态的正构脂肪酸. 用萃取法提取的是自由态正构脂肪酸,用皂化法提取的是束缚态正构脂肪酸. 束缚态的碳同位素组成比自由态的稍轻,二者之差一般小于1‰^[30]. 根据上述化学降解的观点,稻草烟尘中的正构脂肪酸应该主要是束缚态脂肪酸,其单体碳同位素组成应该比稻草中游离态正构脂肪酸轻. 这显然与实际结果相矛盾. 从稻草和烟尘中正构脂肪酸单体碳同位素组成分布的相似性来看,稻草燃烧过程中伴随有机物的气化而发生的同位素动力学分馏,是引起烟尘中正构脂肪酸碳同位素总体相对偏正的主要原因. 闷烧比明火焚烧更有利于脂肪酸发生碳同位素分馏.

3 结论

(1)在稻草明火燃烧和闷烧排放的烟尘中,正

构烷烃和正构脂肪酸的单体碳同位素组成与原稻草中的对应化合物有显著的差别。在多数品种稻草的烟尘中,正构烷烃单体碳同位素组成总体上比秸秆中同碳数正构烷烃轻,而大部分正构脂肪酸的单体碳同位素组成却比稻草重。

(2) 闷烧烟尘中的正构烷烃比明火烟尘中的正构烷烃更趋于亏损 ^{13}C 。闷烧烟尘中高碳数($\geq \text{C}_{19}$)正构脂肪酸的单体碳同位素组成呈现出比明火烟尘偏重的趋势。

致谢: 中国科学院兰州地质研究所李中平博士协助完成了碳同位素测定,作者在此表示感谢。

参考文献:

- [1] Zhang T, Claeys M, Cachier H, *et al.* Identification and estimation of the biomass burning contribution to Beijing aerosol using levoglucosan as a molecular marker [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(39): 7013-7021.
- [2] Wang Q Q, Shao M, Liu Y, *et al.* Impact of biomass burning on urban air quality estimated by organic tracers: Guangzhou and Beijing as cases [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(37): 8380-8390.
- [3] Park S S, Bae M S, Schauer J J, *et al.* Molecular composition of $\text{PM}_{2.5}$ organic aerosol measured at an urban site of Korea during the ACE-Asia campaign [J]. *Atmospheric Environment*, 2006, **40**(22): 4182-4198.
- [4] He L Y, Hu M, Huang X F, *et al.* Seasonal pollution characteristics of organic compounds in atmospheric fine particles in Beijing [J]. *Science of the Total Environment*, 2006, **359**(1-3): 167-176.
- [5] 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.
- [6] Yan B, Zheng M, Hu Y T, *et al.* Organic composition of carbonaceous aerosols in an aged prescribed fire plume [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2008, **8**(21): 6381-6394.
- [7] Wang G H, Kawamura K. Molecular characteristics of urban organic aerosols from Nanjing: a case study of a Mega-City in China [J]. *Environmental Science & Technology*, 2005, **39**(19): 7430-7438.
- [8] 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.
- [9] Wang G H, Kawamura K, Lee S, *et al.* Molecular, seasonal, and spatial distributions of organic aerosols from fourteen Chinese Cities [J]. *Environmental Science & Technology*, 2006, **40**(15): 4619-4625.
- [10] 刘刚, 张旭贤, 滕卫林, 等. 杭州市大气 $\text{PM}_{2.5}$ 中有机碳元素碳的同位素组成 [J]. *科学通报*, 2007, **52**(16): 1935-1937.
- [11] Simoneit B R T. Compound-specific carbon isotope analyses of individual long-chain alkanes and alkanolic acids in Harmattan aerosols [J]. *Atmospheric Environment*, 1997, **31**(15): 2225-2233.
- [12] 彭林, 游燕, 朱坦, 等. 乌鲁木齐空气颗粒物中 PAHs 碳同位素组成及来源解析 [J]. *中国环境科学*, 2006, **26**(5): 542-545.
- [13] Kundu S, Kawamura K, Andreae T W, *et al.* Diurnal variation in the water-soluble inorganic ions, organic carbon and isotopic compositions of total carbon and nitrogen in biomass burning aerosols from the LBA-SMOCC campaign in Rondônia, Brazil [J]. *Journal of Aerosol Science*, 2010, **41**(1): 118-133.
- [14] 李令军, 王英, 张强, 等. 麦秸焚烧对北京市空气质量影响探讨 [J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2008, **38**(2): 232-242.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] Dhammapala R, Claiborn C, Corkill J, *et al.* Particulate emissions from wheat and Kentucky bluegrass stubble burning in eastern Washington and northern Idaho [J]. *Atmospheric Environment*, 2006, **40**(6): 1007-1015.
- [20] Rieley G, Collier R J, Jones D M, *et al.* Sources of sedimentary lipids deduced from stable carbon-isotope analyses of individual compounds [J]. *Nature*, 1991, **352**(6334): 425-427.
- [21] Collister J W, Rieley G, Stern B, *et al.* Compound-specific $\delta^{13}\text{C}$ analyses of leaf lipids from plants with differing carbon dioxide metabolisms [J]. *Organic Geochemistry*, 1994, **21**(6-7): 619-627.
- [22] Brader A V, Van Winden J F, Bohncke S J P, *et al.* Fractionation of hydrogen, oxygen and carbon isotopes in *n*-alkanes and cellulose of three *Sphagnum* species [J]. *Organic Geochemistry*, 2010, **41**(12): 1277-1284.
- [23] 段毅, 吴保祥, 徐丽, 等. 不同纬度地区植物中正构烷烃及其同位素组成 [J]. *地质学报*, 2011, **85**(2): 262-271.
- [24] Dungait J A J, Docherty G, Straker V, *et al.* Seasonal variations in bulk tissue, fatty acid and monosaccharide $\delta^{13}\text{C}$ values of leaves from mesotrophic grassland plant communities under different grazing managements [J]. *Phytochemistry*, 2010, **71**(4): 415-428.
- [25] Lockheart M J, Van Bergen P F, Evershed R P. Variations in

- the stable carbon isotope compositions of individual lipids from the leaves of modern angiosperms: implications for the study of higher land plant-derived sedimentary organic matter [J]. *Organic Geochemistry*, 1997, **26**(1-2): 137-153.
- [26] O'Malley V P, Burke R A, Schlotzhauer W S. Using GC-MS/Combustion/IRMS to determine the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios of individual hydrocarbons produced from the combustion of biomass materials—application to biomass burning [J]. *Organic Geochemistry*, 1997, **27**(7-8): 567-581.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] 刘圣勇, 张百良, 杨群发, 等. 双层炉排生物质成型燃料锅炉设计与研究 [J]. *农业工程学报*, 2003, **19**(6): 268-271.
- [30] Chikaraishi Y, Naraoka H. Carbon and hydrogen isotope variation of plant biomarkers in a plant-soil system [J]. *Chemical Geology*, 2006, **231**(3): 190-202.
- [31] Dignac M F, Bahri H, Rumpel C, *et al.* Carbon-13 natural abundance as a tool to study the dynamics of lignin monomers in soil: an appraisal at the Closeaux experimental field (France) [J]. *Geoderma*, 2005, **128**(1-2): 3-17.
- [32] 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.

《环境科学》再获“百种中国杰出学术期刊” 和“中国精品科技期刊”称号

2011年12月2日,中国科技论文统计结果发布会在北京举行,会议公布了“百种中国杰出学术期刊”和“中国精品科技期刊”获奖名单.《环境科学》连续10次荣获“百种中国杰出学术期刊”称号和再次荣获“中国精品科技期刊”称号.

“百种中国杰出学术期刊”是根据中国科技学术期刊综合评价指标体系进行评定.该体系利用总被引频次、影响因子、基金论文比、他引总引比等多个文献计量学指标进行统计分析,对期刊分学科进行评比,其评价结果客观公正,为我国科技界公认,并具有广泛影响.

CONTENTS

Preface	CHEN Wei-ping (4069)
Ecological Risks of Reclaimed Water Irrigation: A Review	CHEN Wei-ping, ZHANG Wei-ling, PAN Neng, <i>et al.</i> (4070)
Study on Soil Enzyme Activities and Microbial Biomass Carbon in Greenland Irrigated with Reclaimed Water	PAN Neng, HOU Zhen-an, CHEN Wei-ping, <i>et al.</i> (4081)
Soil Salinity in Greenland Irrigated with Reclaimed Water and Risk Assessment	PAN Neng, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao, <i>et al.</i> (4088)
Effect of Reclaimed Water Irrigation on Soil Properties and Vertical Distribution of Heavy Metal	ZHAO Zhong-ming, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao, <i>et al.</i> (4094)
Simulation of Effect of Irrigation with Reclaimed Water on Soil Water-Salt Movement by ENVIRO-GRO Model	LÜ Si-dan, CHEN Wei-ping, WANG Mei-e (4100)
Simulation of Effects of Soil Properties and Plants on Soil Water-salt Movement with Reclaimed Water Irrigation by ENVIRO-GRO Model	LÜ Si-dan, CHEN Wei-ping, WANG Mei-e (4108)
Modeling the Cd Accumulation in Agricultural Soil Irrigated with Reclaimed Water	ZHAO Zhong-ming, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao, <i>et al.</i> (4115)
Model Simulation of the Transportation, Transformation and Accumulation of Synthetic Musk in Soils Input Through Recycle Water Irrigation	WANG Mei-e, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao (4121)
Impacts of Reclaimed Water Irrigation of Urban Lawn on Groundwater Quality	WANG Qiao-huan, CHEN Wei-ping, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> (4127)
Public Awareness Assessment of Water Reuse in Beijing	ZHANG Wei-ling, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao (4133)
Temporal and Spatial Distribution of Ozone Concentration by Aircraft Sounding over Beijing	CHEN Peng-fei, ZHANG Qiang, QUAN Jian-nong, <i>et al.</i> (4141)
Emission Strength and Source Apportionment of Volatile Organic Compounds in Shanghai During 2010 EXPO	WANG Hong-li, CHEN Chang-hong, HUANG Hai-ying, <i>et al.</i> (4151)
Study on Atmospheric VOCs in Gongga Mountain Base Station	ZHANG Jun-he, WANG Yue-si, WU Fang-kun, <i>et al.</i> (4159)
Regional Atmospheric Environment Risk Source Identification and Assessment	ZHANG Xiao-chun, CHEN Wei-ping, MA Chun, <i>et al.</i> (4167)
Carbon Isotopic Compositions of <i>n</i> -Alkanes and <i>n</i> -Alkanoic Acids in the Smoke from Combustion of Rice Straw	LIU Gang, SUN Li-na, LI Jiu-hai, <i>et al.</i> (4173)
Research on NEDC Ultrafine Particle Emission Characters of a Port Fuel Injection Gasoline Car	HU Zhi-yuan, LI Jin, TAN Pi-qiang, <i>et al.</i> (4181)
Magnetic Response of Street Tree Leaves to Particulate Pollution in Shanghai	LONG Qian, ZHOU Ju-zhen, MENG Jie, <i>et al.</i> (4188)
Diurnal Variations of Greenhouse Gas Fluxes at the Water-Air Interface of Aquaculture Ponds in the Min River Estuary	YANG Ping, TONG Chuan, HE Qing-hua, <i>et al.</i> (4194)
Effects of Simulated Warming on Soil Respiration in a Cropland Under Winter Wheat-Soybean Rotation	LIU Yan, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (4205)
Transport and Differentiation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Air from Dashiwei Karst Sinkholes in Guangxi, China	KONG Xiang-sheng, QI Shi-hua, SUN Qian, <i>et al.</i> (4212)
Pollution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water of Songhua River Basin During the Icebound Season	MA Wan-li, LIU Li-yan, QI Hong, <i>et al.</i> (4220)
Pollution Characteristics and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Rivers of Wenzhou City	ZHOU Jie-cheng, CHEN Zhen-lou, BI Chun-juan, <i>et al.</i> (4226)
Pollution Characteristics and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Riparian Soils Along Urban Rivers of Wenzhou City	ZHOU Jie-cheng, BI Chun-juan, CHEN Zhen-lou, <i>et al.</i> (4237)
Spatial Distribution and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Partial Surface Sediments of Liaohe River	WU Jiang-yue, LIU Zheng-tao, ZHOU Jun-li, <i>et al.</i> (4244)
Phenols Pollutants in Soil and Shallow Groundwater of a Retired Refinery Site	PEI Fang, LUO Ze-jiao, PENG Jin-jin, <i>et al.</i> (4251)
Heterogeneous Characteristic of PAHs' Spatial Distribution in a Large Coking Site of China	LIU Geng, GUO Guan-lin, NAN Feng, <i>et al.</i> (4256)
Vertical Distribution and Source Analysis of Organochlorine Pesticides in Sewage Irrigation Area, Taiyuan City	LIAO Xiao-ping, ZHANG Cai-xiang, ZHAO Xu, <i>et al.</i> (4263)
Distribution and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Agricultural Soil of the Chongming Island in Shanghai	LÜ Jin-gang, BI Chun-juan, CHEN Zhen-lou, <i>et al.</i> (4270)
Mercury and Copper Accumulation During Last Fifty Years and Their Potential Ecological Risk Assessment in Sediment of Mangrove Wetland of Shenzhen, China	LI Rui-li, CHAI Min-wei, QIU Guo-yu, <i>et al.</i> (4276)
Characteristics of Heavy Metal Pollution in the Sediments from Shahe Reservoir, the Upper Reach of the North Canal River	ZHANG Wei, ZHANG Hong, SHAN Bao-qing (4284)
Speciation and Pollution Characteristics of Heavy Metals in the Sediment of Taihu Lake	QIN Yan-wen, ZHANG Lei, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (4291)
Chemical Composition and Daily Variation of Melt Water During Ablation Season in Monsoonal Temperate Glacier Region: A Case Study of Baishui Glacier No. 1	ZHU Guo-feng, PU Tao, HE Yuan-qing, <i>et al.</i> (4300)
Experimental Study on the Environmental Fate of Nitrogen in Snail-Macrophyte Ecosystem for Water Purification	ZHOU Lu-hong, GU Xiao-hong, ZENG Qing-fei, <i>et al.</i> (4307)
Growth Inhibition Effect of Immobilized Pectinase on <i>Microcystis aeruginosa</i>	SHEN Qing-qing, PENG Qian, LAI Yong-hong, <i>et al.</i> (4316)
A Novel Approach of Using Fouling Index to Evaluate NOM Fouling Behavior During Low Pressure Ultrafiltration Process	XIAO Ping, XIAO Feng, ZHAO Jing-hui, <i>et al.</i> (4322)
Characteristics of Monomethylmercury Photodegradation in Water Body	SUN Rong-guo, MAO Wen, MA Ming, <i>et al.</i> (4329)
Degradation of Oxytetracycline with Ozonation in Acetic Acid Solvent	LI Shi-yin, LI Xiao-rong, ZHU Yi-ping, <i>et al.</i> (4335)
Photodegradation Performance and Mechanisms of Carbamazepine and Its Impact Factors	CHEN Chao, ZHAO Qian, FENG Li, <i>et al.</i> (4340)
Investigation of Nitrobenzene Removal by Iron Sulfide (FeS)	WANG Xia-lin, LI Rui-hua (4346)
Experimental Research on <i>In-Situ</i> Auto-Monitoring for Underground Sewage Pipeline Leakage	GUO Lei, JIA Yong-gang, FU Teng-fei, <i>et al.</i> (4352)
Adsorption of Phenol Chemicals by Surfactant-Modified Zeolites	XIE Jie, WANG Zhe, WU De-yi, <i>et al.</i> (4361)
Acute Toxicity of Antibiotics and Anaerobic Digestion Intermediates in Pharmaceutical Wastewaters	JI Jun-yuan, XING Ya-juan, ZHENG Ping (4367)
Study on Phosphorus Removal Capability of Constructed Wetlands Filled with Broken Bricks	WANG Zhen, LIU Chao-xiang, LI Peng-yu, <i>et al.</i> (4373)
Denitrification Water Treatment with Zeolite Composite Filter by Intermittent Operation	QING Cheng-song, BAO Tao, CHEN Tian-hu, <i>et al.</i> (4380)
Influence of Nitrate on the Simultaneous Methanogenesis and Denitrification Reaction of Anaerobic Biofilm and Granular Sludge	ZHONG Chen-yu, YE Jie-xu, LI Ruoyu, <i>et al.</i> (4387)
Study on Dewatering of Activated Sludge Under Applied Electric Field	JI Xue-yuan, WANG Yi-li, FENG Jing (4393)
Effects of Multiple Environmental Factors on Trifluorsulfuron-methyl Degradation in Soils	SONG Ning-hui, SHAN Zheng-jun, SHI Li-li, <i>et al.</i> (4400)
Effect of Alkaline Post-Treatment on Physicochemical Property of Digested <i>Spartina alterniflora</i>	CHEN Guang-yin, ZHENG Zheng, CHANG Zhi-zhou, <i>et al.</i> (4406)
Structural Changes in Mineral Phases and Environmental Release Behavior of Arsenic During Sintering of Arsenic-containing Waste	WANG Xing-run, NONG Ze-xi, WANG Qi (4412)
Study on Emission Standard System of Air Pollutants	JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, ZHANG Ming-hui, <i>et al.</i> (4417)
Mechanism for Transformation of Environmental Criteria into Environmental Standards in China	BI Cen-cen, WANG Tie-yu, LÜ Yong-long (4422)
Effect Analysis on the Two Total Load Control Methods for Poisonous Heavy Metals	FU Guo-wei (4428)

《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)

2012年12月15日 33卷 第12期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 12 Dec. 15, 2012

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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行