

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第8期

Vol.36 No.8

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

基于16S rRNA 基因测序法分析北京霾污染过程中 PM _{2.5} 和 PM ₁₀ 细菌群落特征	王步英, 郎继东, 张丽娜, 方剑火, 曹晨, 郝吉明, 朱昕, 田埂, 蒋靖坤 (2727)
北京城区冬季降尘微量元素分布特征及来源分析	熊秋林, 赵文吉, 郭道宇, 陈凡涛, 束同同, 郑晓霞, 赵文慧 (2735)
北京市典型餐饮企业油烟中醛酮类化合物污染特征	程婧晨, 崔彤, 何万清, 聂磊, 王军玲, 潘涛 (2743)
基于实际道路交通流信息的北京市机动车排放特征	樊守彬, 田灵娣, 张东旭, 曲松 (2750)
夏季珠江三角洲地区 PM _{2.5} 化学组分特征及其对大气能见度的影响	杨毅红, 瞿群, 刘随心, 李雄, 钟佩仪, 陶俊 (2758)
隧道工人的 PM ₁₀ 职业暴露特征调查分析及其健康风险评价	向华丽, 杨俊, 仇珍珍, 雷万雄, 曾婷婷, 兰志财 (2768)
基于在线监测的江苏省大型固定燃煤源排放清单及其时空分布特征	张英杰, 孔少飞, 汤莉莉, 赵天良, 韩永翔, 于红霞 (2775)
柴达木盆地东部降水氢氧同位素特征与水汽来源	朱建佳, 陈辉, 巩国丽 (2784)
长江口-浙闽沿岸沉积色素的分布特征及其指示意义	李栋, 姚鹏, 赵彬, 王金鹏, 潘慧慧 (2791)
“引江济太”过程中长江-望虞河-贡湖氮、磷输入特征研究	潘晓雪, 马迎群, 秦延文, 邹华 (2800)
重庆市典型城镇区地表径流污染特征	王龙涛, 段丙政, 赵建伟, 华玉妹, 朱端卫 (2809)
调水调沙对黄河下游颗粒有机碳运输的影响	张婷婷, 姚鹏, 王金鹏, 潘慧慧, 高立蒙, 赵彬, 李栋 (2817)
青藏高原冰川区可溶性有机碳含量和来源研究	严芳萍, 康世昌, 陈鹏飞, 柏建坤, 李洋, 胡召富, 李潮流 (2827)
岩溶区地下水补给型水库表层无机碳时空变化特征及影响因素	李建鸿, 蒲俊兵, 袁道先, 刘文, 肖琼, 于爽, 张陶, 莫雪, 孙平安, 潘谋成 (2833)
室内模拟不同因子对岩溶作用与碳循环的影响	赵瑞一, 吕现福, 段逸凡 (2843)
新乡市地表水体 HCHs 和 DDTs 的分布特征及生态风险评价	冯精兰, 余浩, 刘书卉, 刘梦琳, 孙剑辉 (2849)
青木关地下河系统中不同含水介质下正构烷烃对比研究	梁作兵, 孙玉川, 王尊波, 江泽利, 廖昱, 谢正兰, 张媚 (2857)
三峡库区长寿湖水体不同形态汞的空间分布特征	白薇扬, 张成, 赵锋, 唐振亚, 王定勇 (2863)
燃煤电厂周围渔业养殖行为对水生生态环境中汞形态变化的影响	梁鹏, 王远娜, 尤琼智, 高雪飞, 何杉杉 (2870)
运用硫同位素、氮氧同位素示踪厘清湖地下河硫酸盐、硝酸盐来源	李瑞, 肖琼, 刘文, 郭芳, 潘谋成, 于爽 (2877)
藻华聚集的生态效应: 对凤眼莲叶绿素和光合作用的影响	刘国锋, 何俊, 杨轶中, 韩士群 (2887)
DOM 对被动采样技术的影响与应用	于尚云, 周岩梅 (2895)
蛋白质对 PVDF 超滤膜污染行为的界面微观作用力解析	王旭东, 周森, 孟晓荣, 王磊, 黄丹曦, 夏四清 (2900)
水环境中碳纳米管对沙丁胺醇降解的影响	汪祺, 韩佳芮, 魏博凡, 周磊, 张亚, 杨曦 (2906)
β-In ₂ S ₃ 的制备及其太阳光下降解土霉素	艾翠玲, 周丹丹, 张嵘嵘, 邵享文, 雷英杰 (2911)
排水管道沉淀物氮释放特性的研究	陈红, 卓琼芳, 许振成, 王劲松, 魏清伟 (2918)
生物膜 CANON 反应器中沉积物影响及其成因分析	付昆明, 王会芳, 左早荣, 仇付国 (2926)
ABR-MBR 一体化工艺节能降耗措施优化研究	吴鹏, 陆爽君, 徐乐中, 刘捷, 沈耀良 (2934)
两个 CANON 污水处理系统中氨氧化古菌的丰度和多样性研究	高景峰, 李婷, 张树军, 樊晓燕, 潘凯玲, 马谦, 袁亚林 (2939)
ABR 耦合 CSTR 一体化工艺好氧颗粒污泥形成机制及其除污效能研究	巫恺澄, 吴鹏, 徐乐中, 李月寒, 沈耀良 (2947)
珠江三角洲地区土壤有机氯农药分布特征及风险评价	窦磊, 杨国义 (2954)
广西都安县耕地土壤重金属污染风险评价	吴洋, 杨军, 周小勇, 雷梅, 高定, 乔鹏伟, 杜国栋 (2964)
开封市公园地表灰尘重金属污染及健康风险	段海静, 蔡晓强, 阮心玲, 全致琦, 马建华 (2972)
我国西南地区氮饱和马尾松林土壤和植物 ¹⁵ N 自然丰度对长期氮施加的响应	刘文静, 康荣华, 张婷, 朱婧, 段雷 (2981)
黄土高原纬度梯度上的植物与土壤碳、氮、磷化学计量学特征	李婷, 邓强, 袁志友, 焦峰 (2988)
开顶式气室原位研究水稻根系对大气汞浓度升高的响应	陈剑, 王章玮, 张晓山, 秦普丰, 陆海军 (2997)
接种丛枝菌根真菌对蜈蚣草吸收砷的影响	郑文君, 王明元 (3004)
水稻种植对黑土微生物生物量和碳源代谢功能的影响	赵志瑞, 崔丙健, 侯彦林, 刘上千, 王岩 (3011)
固定化菌剂载体材料腐解产物对污染土壤中芘解吸的影响	全冬丽, 双生晴, 李晓军, 邓万荣, 赵然然, 贾春云, 巩宗强 (3018)
零价铁和碱激发矿渣稳定/固定化处理铬渣研究	陈忠林, 李金春子, 王斌远, 樊磊涛, 沈吉敏 (3026)
Fe ³⁺ 负载凹凸棒土 (Fe/ATP) 结构表征及其稳定化修复镉 (Cd) 机制研究	杨蓉, 李鸿博, 周永莉, 陈静, 王琳玲, 陆晓华 (3032)
原位生物修复提高多环芳烃污染土壤农作安全性	焦海华, 潘建刚, 徐圣君, 白志辉, 王栋, 黄占斌 (3038)
镉-八氯代二苯并呋喃复合污染土壤中紫茉莉对镉的修复能力	张杏丽, 邹威, 周启星 (3045)
不同水分条件对蜈蚣草修复砷污染土壤的影响	刘秋辛, 阎秀兰, 廖晓勇, 林龙勇, 杨静 (3056)
磷矿粉和腐熟水稻秸秆对土壤铅污染的钝化	汤帆, 胡红青, 苏小娟, 付庆灵, 朱俊 (3062)
洛克沙肿在青菜及土壤中的残留及降解特性	邵婷, 姚春霞, 沈源源, 张玉洁, 苏楠楠, 周守标 (3068)
3 种典型有机污染物对 2 种水生生物的急性毒性及安全评价	杨扬, 李雅洁, 崔益斌, 李梅 (3074)
石油污染物对海底微生物燃料电池性能的影响及加速降解效应	孟瑶, 付玉彬, 梁生康, 陈伟, 柳昭慧 (3080)
Cu-Mn-Ce/ 分子筛催化剂吸附甲苯后的微波原位再生及床层温度分布探究	虎雪姣, 卜龙利, 梁欣欣, 孟海龙 (3086)
热处理对猪粪高固厌氧消化产甲烷能力的影响	胡玉瑛, 吴静, 王士峰, 曹知平, 王凯军, 左剑恶 (3094)
磷石膏对麦田 CO ₂ 排放和小麦产量的影响及其经济环境效益分析	李季, 吴洪生, 高志球, 尚小厦, 郑培慧, 印进, Kakpa Didier, 任迁琪, Ogou Katchele Faustin, 陈素云, 徐亚, 姚童言, 李炜, 钱景珊, 马世杰 (3099)
全氟和多氟烷基化合物的环境风险评估研究现状、不确定性与趋势分析	郝薛文, 李力, 王杰, 曹燕, 刘建国 (3106)
《环境科学》征订启事 (2757)	
《环境科学》征稿简则 (2767)	
信息 (2734, 2783, 3073, 3079)	

青木关地下河系统中不同含水介质下正构烷烃对比研究

梁作兵¹, 孙玉川^{1,2,*}, 王尊波¹, 江泽利¹, 廖昱¹, 谢正兰¹, 张媚¹

(1. 西南大学地理科学学院, 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715; 2. 中国地质科学院岩溶地质研究所/国土资源部、广西岩溶动力学重点实验室, 桂林 541004)

摘要: 为阐释不同含水介质中正构烷烃的来源及迁移、变化特征, 2013年7~11月期间, 每月对大驴池、姜家泉两个表层岩溶泉进行取样, 并利用气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)对样品中溶解态正构烷烃的组分进行定量分析。结果表明, 大驴池中溶解态正构烷(T-ALK)含量变化范围为175~3 279 ng·L⁻¹, 平均值为1 011 ng·L⁻¹, 姜家泉变化范围为282~775 ng·L⁻¹, 平均值为527 ng·L⁻¹。大驴池中高碳数(C25~C32)正构烷烃占T-ALK含量的27.89%~52.92%, CPI(碳优势指数)值介于0.64~5.86之间, OEP(奇偶优势指数)值介于0.57~4.56之间, L/H(短链/长链正构烷烃比值)的变化范围为0.33~0.50之间, 随月份无规律变化; 姜家泉中高碳数(C35~C32)正构烷烃占T-ALK含量的23.66%~49.73%, CPI值的变化范围为0.82~3.07, OEP值的变化范围为0.51~3.59, L/H值则在0.97~1.23之间波动, 且随月份的增加呈增大的趋势。即在7~11月之间, 大驴池中高等有机质输入所占的比重不断增大, 而姜家泉中有机质的输入类型差异较大。L/H值不能反映两者有机质输入的相对贡献, 初步认为和降雨或水洗效应相关。另外, TAR(陆生/水生类脂物比值)值对降雨有一定的响应。

关键词: 地下河系统; 正构烷烃; 含水介质; 生物标志物; 水土流失

中图分类号: X131.2; X523 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)08-2857-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.08.017

Comparison Study of the Alkanes in Different Aquifer Medium Under Qingmuguan Underground System

LIANG Zuo-bing¹, SUN Yu-chuan^{1,2,*}, WANG Zun-bo¹, JIANG Ze-li¹, LIAO Yu¹, XIE Zheng-lan¹, ZHANG Mei¹

(1. Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Key Laboratory of Karst Dynamics, Ministry of Land and Resources & Guangxi, Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guilin 541004, China)

Abstract: Dissolved alkanes were collected from Dalv spring and Jiangjia spring from July to November, 2013, and were quantitatively analyzed by the gas chromatography-mass spectrometer (GC-MS). The results show that the total content of dissolved alkanes in Dalv spring is 175-3 279 ng·L⁻¹, with a mean value of 1 011 ng·L⁻¹. In Jiangjia spring, the total content of dissolved alkanes is 282-775 ng·L⁻¹, with a mean value of 527 ng·L⁻¹. Ratios of the content of alkanes with high carbon number (C25-C32) to the total alkanes vary from 27.89% to 52.92% in Dalv spring, and 23.66% to 49.73% in Jiangjia spring. Combined with CPI and OEP the relative contribution to the dissolved alkanes of higher plants are increasing in Dalv spring, however, it is different in Jiangjia spring. In addition, the values of L/H couldn't reflect different organic contributions to the dissolved alkanes, and the values of TAR may relate with rainfall.

Key words: underground river system; alkane; aquifer medium; biomarker; soil erosion

正构烷烃是一类直链的饱和碳氢化合物, 广泛存在于植物和其他生物体中。研究发现正构烷烃抗降解性强, 其结构在地层^[1,2]、沉积物^[3~5]、空气^[6,7]、水^[8]等环境介质中能够保持较为稳定的状态, 且不同的分布特征能够相对精确地指示物质的来源等特点, 使之成为一种很好的生物标志物, 并在古环境重建^[9~11]、污染物来源识别^[12,13]、有机质来源及迁移、转化^[14]等方面发挥了重要作用。我国西南地区岩溶面积约有50万 km²^[15], 一方面, 岩溶区蕴藏着丰富的地下水资源, 且这些地下水资源对当地的社会经济发展起着至关重要的作用。另一方

面, 岩溶区又存在独特的“二元”结构, 造成土壤养分流失在地表和地下都有发生^[16]。加之岩溶含水介质的不均性特点, 使得地表的污染物在进入地下时没有经过充分的自净化, 在短时间内向地下河出口或以泉的形式排出^[17,18], 这对岩溶区居民的生活用水健康带来严重的挑战。为剖析不同含水介质中

收稿日期: 2015-01-03; 修订日期: 2015-03-29

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项(XDJK2013B021); 西南大学博士基金项目(SWU110258); 应对全球气候变化地质调查综合研究项目(12120113006700); 重庆市科委院士专项(cstc2013jcyjys20001)

作者简介: 梁作兵(1988~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为全球变化、有机地球化学, E-mail: bruce lung@163.com

* 通讯联系人, E-mail: sunyc@swu.edu.cn

有机质的来源及运移行为,并为岩溶区地下河水资源的管理与保护,水土流失的预防与治理提供依据,本研究试以青木关地下河系统中两个岩溶泉为例,通过探讨不同含水介质中正构烷烃的浓度及来源、组成变化,来帮助理解岩溶环境下水污染和水土流失的发生过程。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

青木关岩溶流域位于重庆市北碚区、沙坪坝区和璧山县的交界处,属于川东平行岭谷华蓥山山系缙云山区,地理坐标为 $106^{\circ}16'48'' \sim 106^{\circ}20'10''E$, $29^{\circ}40'40'' \sim 29^{\circ}47'N$,研究区内背斜成山,向斜成谷,呈“一山二岭一槽”式的典型岩溶槽谷景观。研究区多年平均降水量为1250 mm,多年气温为 $16.5^{\circ}C$,降雨主要集中于4月至10月。植被主要为亚热带常绿针叶林(如马尾松、杉木和竹子等)和阔叶林(大量为灌木丛,具有旱生、喜钙等特点),土壤类型主要为石灰土,洼地中有水稻。区内人类活动以农业生产活动为主,耕地面积约占流域面积的30%。

1.2 样品的采集

图1为采样点分布,大驴池和姜家泉为两个采样点。大驴池采样点距离姜家泉约800m左右,姜家泉为地下河的出口,受管道流水控制,对降雨的响应明显^[19]。大驴池为当地居民的吃水井,主要受裂隙水渗透补给,对降雨的响应不大。采样时间为2013年7月至11月,每月采样一次。但2013年7、8两月天气炎热、干旱,至8月下旬青木关地下河已经发生断流,姜家泉没有出水,故在8月没有进行采样。进行野外采样之前,用事先清洗干净(用去离子水清洗3遍,然后放入 $450^{\circ}C$ 烘箱灼烧6 h)并现场润洗多次的4 L棕色玻璃瓶收集水样,加入1 mL($5 g \cdot L^{-1}$)的 $HgCl_2$,抑制水中微生物的生长;然后密封

迅速运回实验室,用 $0.7 \mu m$ 的玻璃纤维膜(事先在马弗炉内灼烧4 h)将水样分为溶解相和颗粒相两部分。

1.3 试剂和材料

样品分析所用的正己烷、二氯甲烷、甲醇、乙酸乙酯均为农残级,购自美国 Fisher 公司。玻璃纤维膜(Whatman GF/F,有效孔径 $0.7 \mu m$)于 $450^{\circ}C$ 马弗炉中灼烧6 h,无水硫酸钠(分析纯)于 $550^{\circ}C$ 马弗炉中灼烧8 h,分别置于干燥器中冷却密封备用;脱脂棉经二氯甲烷抽提72 h后风干,密封干燥备用。盐酸用二氯甲烷萃取6次后备用。

1.4 样品处理与分析

1.4.1 水中溶解态正构烷烃提取

取经过玻璃纤维滤膜(有效孔径 $0.7 \mu m$)过滤的水样4 L,装入棕色瓶中,用净化后的盐酸酸化至 $pH < 2$,摇匀,使用全自动固相萃取系统(美国 Horizon 公司, SPE-DEX 4790)萃取(C18膜,直径47 mm,3M公司),提取液用50 mL鸡心瓶收集,提取液依次经过皂化、甲基化后,用正己烷萃取其中的正构烷烃,然后经干燥、浓缩后,氮吹至0.2 mL,加入内标物,放入 $-26^{\circ}C$ 冰箱中待测。

1.4.2 正构烷烃分析

正构烷烃的检测采用 GC-MS 分析(Agilent, 7890A/5975C),色谱柱为 HP-5MS 毛细管柱($30.0 m \times 0.32 mm \times 0.25 \mu m$)。载气为高纯氦气,流速为 $1 mL \cdot min^{-1}$,进样口温度 $280^{\circ}C$,升温程序为初始温度 $50^{\circ}C$,保持1 min后以 $20^{\circ}C \cdot min^{-1}$ 升温至 $200^{\circ}C$,然后再以 $10^{\circ}C \cdot min^{-1}$ 的速度升温至 $290^{\circ}C$,保持15 min。无分流进样,进样量 $1 \mu L$ 。EI 电离源 $70 eV$,离子源温度 $230^{\circ}C$ 。采集全扫描数据。使用内标法进行定量分析。

2 结果与讨论

2.1 正构烷烃含量及组成特征

正构烷烃含量:如表1所示,大驴池中溶解态正构烷烃含量(T-ALK)的变化范围为 $175 \sim 3279 ng \cdot L^{-1}$,各月之间差异较大,平均值为 $1011 ng \cdot L^{-1}$ 。姜家泉中溶解态正构烷烃 T-ALK 含量的变化范围为 $282 \sim 775 ng \cdot L^{-1}$,平均值为 $527 ng \cdot L^{-1}$ 。总体来看,除7月大驴池中溶解态正构烷烃含量较姜家泉高之外,其它各月溶解态正构烷烃的含量较姜家泉低。姜家泉受管道流水控制,连接地下河,是地下河的出口。地下河在运移过程中不断接纳来自上部地表的有机质,而且地下河入口处为水塘,

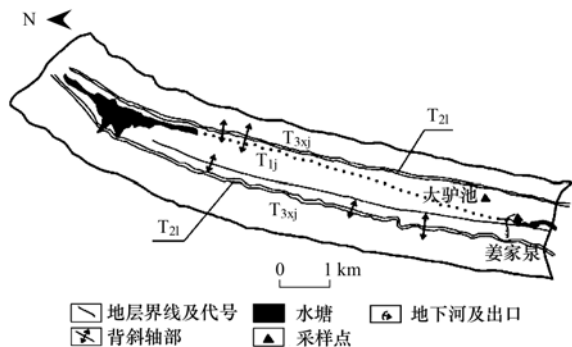


图1 采样点分布示意

Fig. 1 Location of the sampling sites

水塘中的水通过地下河入口进入地下河之后,最终通过姜家泉流出;大驴池主要受裂隙水控制,其补给来源相对有限,主要来自上部地表.综合分析认为,青木关地下河系统里岩溶含水介质的不均性造成了以上两者浓度的差异特点^[20,21].而二者含量的最高值均出现在7月且大驴池中溶解态正

构烷烃含量大于姜家泉.研究区内7月炎热干旱,降雨量小,岩溶泉由于受雨水补给的限制,水位下降,水量减少,水中溶解态正构烷烃的含量反而增大,进入9月以后雨水增多,泉水水位上升,流量增大,水中溶解态正构烷烃的浓度由于受到稀释作用而下降.

表1 溶解态正构烷烃含量及其分子特征指标¹⁾/ng·L⁻¹
Table 1 Content of dissolved alkanes and characteristics of molecular indices/ng·L⁻¹

项目	大驴池				姜家泉			
	7月	9月	10月	11月	7月	9月	10月	11月
C14	79.1	1.20	9.20	30.4	30.7	13.0	2.32	22.9
C15	75.4	4.23	10.00	28.3	19.2	3.4	20.4	22.6
C16	271.6	19.3	9.54	10.8	26.9	85.1	8.00	13.0
C17	53.2	2.94	8.34	4.26	102	n. d	30.8	99.8
C18	100	2.99	18.08	13.43	80.2	153	29.3	6.94
C20	305	27.5	0.45	3.62	134	163	41.5	52.8
C22	337	4.92	8.31	15.0	31.7	59.8	6.81	17.6
C23	1143	8.16	15.27	22.9	63.3	64.7	21.4	34.6
C24	n. d	23.38	20.39	43.8	63.9	25.1	25.1	34.4
C25	n. d	n. d	46.69	82.7	28.5	n. d	21.5	61.9
C26	329	7.94	8.27	7.49	41.0	74.2	8.22	9.05
C27	157	8.58	25.43	45.9	58.8	29.3	34.5	21.9
C28	153	7.84	6.19	9.57	20.4	32.0	7.31	11.3
C29	162	53.3	29.32	44.8	74.2	38.9	21.8	18.4
C30	63.0	1.13	3.89	2.40	n. d	n. d	2.00	55.8
C31	35.0	0.71	1.79	1.09	n. d	0.54	n. d	n. d
C32	15.2	0.52	2.78	n. d	n. d	1.06	0.52	3.82
T-ALK	3279.14	174.63	223.94	366	774.98	743.67	281.51	486.77
R/%	27.89	45.82	55.54	52.92	29.67	23.66	42.83	49.73
CPI	0.64	2.57	3.77	5.86	1.96	0.82	3.07	1.10
L/H	0.37	0.50	0.33	0.33	0.97	0.78	1.13	1.23
OEP	0.57	1.66	3.95	4.56	1.86	0.51	3.95	0.66
TAR	2.75	8.73	3.08	2.82	1.09	20.11	1.10	0.33

1) “n. d”表示低于检测限; T-ALK表示“溶解态正构烷烃浓度总量”; R表示“ $\sum_{C25 \sim C32}$ 与浓度总量的百分比”; CPI = $1/2[\sum(C25 \sim C31)_{\text{奇数}}/\sum(C24 \sim C30)_{\text{偶数}} + \sum(C25 \sim C31)_{\text{奇数}}/\sum(C26 \sim C32)_{\text{偶数}}]$; L/H = $\sum C20^-/\sum C22^+$; OEP = $(C25 + 6C27 + C29)/4(C26 + C28)$; TAR = $(C27 + C29 + C31)/(C15 + C17 + C19)$

组成特征:大驴池和姜家泉各月份峰型差异显著,表明其有机质来源存在明显不同.图2为大驴池中正构烷烃峰态分布.从中可见,7月表现为“单峰”态:以C23为主峰,奇偶优势不明显. $\sum(C25 \sim C32)$ 占正构烷烃含量(T-ALK)的27.89%.表明有一定量的高等有机质的输入.9月表现为“双峰态”:前峰以C20为主峰,次主峰为C16,后峰以C29为主峰,次主峰为C24, $\sum(C25 \sim C32)$ 占正构烷烃含量(T-ALK)的45.82%.10月和11月表现为“单峰后峰型”:以C25为主峰,C27、C29为次主峰,在C25~C30之间奇碳优势明显, $\sum(C25 \sim C32)$ 分别占正构烷烃含量(T-ALK)的55.54%和

52.92%,为典型的高等生物输入的特征^[14].总体来看, $\sum(C25 \sim C32)$ 的相对比重随月份的增加大致呈上升趋势.图3为姜家泉中正构烷烃峰态分布.从中可知,7月和10月碳峰峰态分布相似,大致呈“双峰分布”,前峰均以C20为主峰,后峰分别以C29和C27为主峰,并在C25~C30之间以奇数碳占优势. $\sum(C25 \sim C32)$ 分别占T-ALK含量的29.67%和42.83%.9月和11月表现为“单峰态前峰型”:并分别以C20、C17为主峰, $\sum(C25 \sim C32)$ 分别占T-ALK含量的23.66%和49.73%.

2.2 正构烷烃分子指标及来源分析

CPI和OEP是判断正构烷烃来源的两个常用参

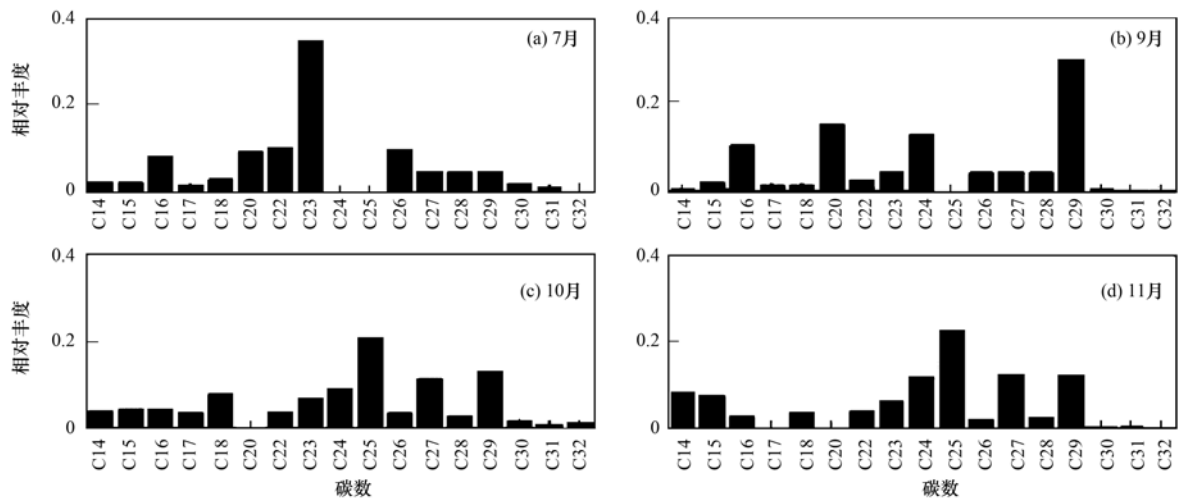


图2 大驴池中正构烷烃浓度丰度分布

Fig. 2 Abundance distribution of alkanes in Dalv spring

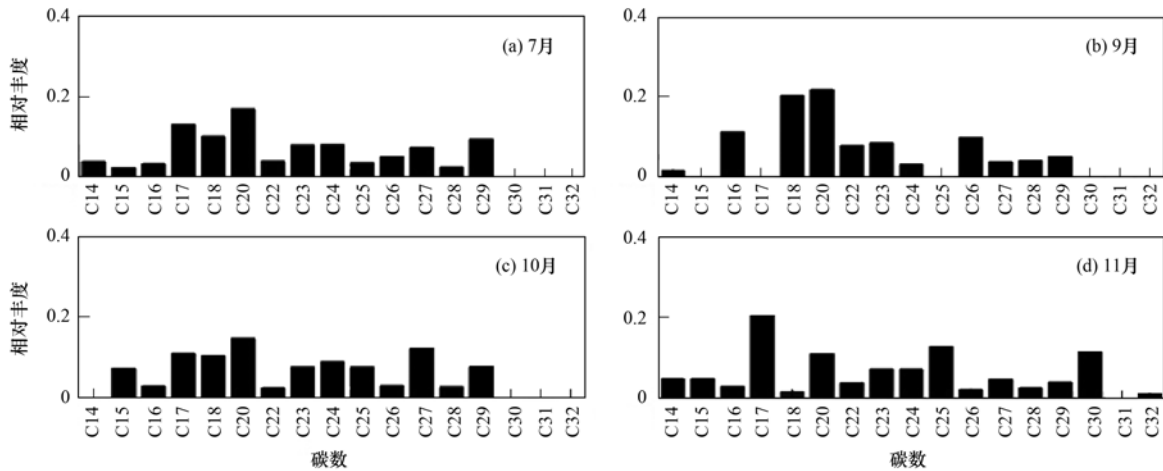


图3 姜家泉中正构烷烃浓度丰度分布

Fig. 3 Abundance distribution of alkanes in Jiangjia spring

数,且不同来源的正构烷烃有着不同的范围. 较高的 CPI、OEP 值指示陆地高等植物的输入,而低的 OEP 值和低的 CPI 值则可能指示细菌、藻类来源的输入^[22]. 如图 4 所示,大驴池采样点中 CPI₂₄₋₃₂ 的变化范围为 0.64 ~ 5.86, OEP₂₅₋₂₉ 值的变化范围为 0.57 ~ 4.56. 除 7 月 CPI₂₂₋₃₃ (0.64)、OEP₂₅₋₂₉ (0.57) 值小于 1 之外,其它月 CPI、OEP 值均大于 1,并随着月份的增加而增大,平均值分别为 4.07 和 3.39. 说明在 9 ~ 11 月期间高等植物为正构烷烃的主要来源^[23],且相对贡献不断增大;姜家泉采样点中 CPI₂₄₋₃₂ 的变化范围为 0.82 ~ 3.07, OEP₂₅₋₂₉ 值的变化范围为 0.51 ~ 3.95,最高值出现在 10 月 (CPI₂₄₋₃₂ 值为 3.07, OEP 值为 3.95),指示高等植物的贡献量占主导. 其它 3 个月的平均值分别为 1.29

和 1.01,说明细菌、藻类的输入为主要来源. 一般认为短链正构烷烃 (C₁₅₋₂₁) 主要来源于细菌、藻类,且没有明显的奇偶优势,而长链正构烷烃 (C₂₂₋₃₃) 主要来源于陆地高等植物^[24],所以利用 L/H 的比值能够反映不同生物输入的相对贡献. 而有关研究者发现, L/H 比值不仅和生物输入相关还与水洗效应或降雨^[25]、微生物降解^[26] 相联系. TAR (水陆相对贡献) 则是反映内外源有机质相对贡献的比例,当陆生植物输入占优势时 TAR 值大于 1,反之 TAR 值小于 1 时指示内源有机质输入占优势^[27]. 大驴池中 L/H 值介于 0.33 ~ 0.50 之间, TAR 值介于 2.75 ~ 8.73 之间,最高值出现在 9 月 (8.73),平均值为 4.35,二者共同指示了陆地高等植物是正构烷烃的主要来源;姜家泉中 L/H 值介于 0.78 ~ 1.23 之间,

平均值为 1.03。TAR 除 9 月 (20.11) 异常高之外, TAR 变化范围为 0.33 ~ 1.10, 平均值为 0.84, 说明除 9 月外, 姜家泉中正构烷烃主要来源于水中细菌等微生物。另外, 降雨可能是导致大驴池、姜家泉在 9 月中 TAR 值异常高的原因。由于岩溶含水介质的不均性, 岩溶地表发育着大量的溶缝、裂隙, 地表土壤中的腐殖质在受到雨水冲刷时会通过溶缝、裂隙等直接进入泉水中, 从而造成了短时间内泉水中汇入了大量的外源有机质。综合分析认为, 大驴池中 CPI、OEP 值能够较好地反映水中溶解态正构烷烃的来源, 即随着月份的增加高等有机质对正构烷烃的相对贡献量不断增大; 姜家泉中 CPI、OEP 值的变化差异较大, 随着月份的增加高等有机质的相对贡献并没有呈增加的趋势。

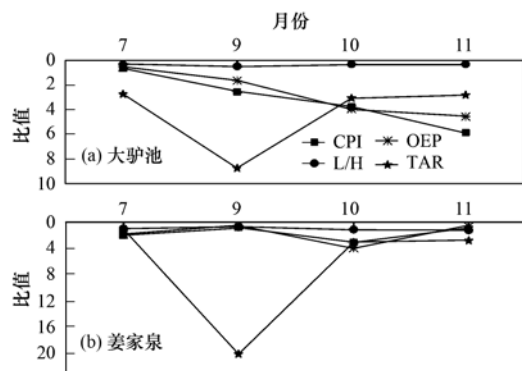


图 4 正构烷烃分子指标分布

Fig. 4 Distributions of alkanes molecular indexes in Dalv spring

3 结论

(1) 大驴池受裂隙水流补给控制, 水中溶解态正构烷烃含量相对较小; 姜家泉则受管道水流控制, 由于岩溶环境的不均性使得其补给来源多样、复杂, 造成其溶解态正构烷烃含量相对较大。

(2) 大驴池中溶解态正构烷烃以高碳数烷烃为主, 且在 9 ~ 11 月奇碳优势明显, 表明大驴池中有机质主要来源于上覆地表的高等植物; 姜家泉中溶解态正构烷烃则以低碳数为主, 奇碳优势不明显且变化差异较大, 表明姜家泉中有机质来源较广。

(3) 正构烷烃特征参数 L/H (低碳数与高碳数比), TAR (水陆相对贡献) 对降水有一定的响应, 可以作为反映水土流失的指标。

参考文献:

- [1] Schoon P L, Heilmann-Clausen C, Schultz B P, *et al.* Warming and environmental changes in the eastern North Sea Basin during the Palaeocene-Eocene Thermal Maximum as revealed by biomarker lipids[J]. *Organic Geochemistry*, 2015, **78**: 79-88.
- [2] Chen L, Wang Y B, Xie S C, *et al.* Molecular records of microbialites following the end-Permian mass extinction in Chongyang, Hubei Province, South China[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2011, **308**(1-2): 151-159.
- [3] 蒲阳, 张虎才, 王永莉, 等. 青藏高原冰蚀湖沉积物正构烷烃记录的气候和环境变化信息: 以希门错为例[J]. *科学通报*, 2011, **56**(14): 1132-1139.
- [4] 欧杰, 王延华, 杨浩, 等. 正构烷烃及单体碳同位素记录的石臼湖生态环境演变研究[J]. *环境科学*, 2013, **34**(2): 484-493.
- [5] 胡星, 朱立平, 汪勇, 等. 青藏高原西南部湖泊沉积正构烷烃及其单体 δD 的气候意义[J]. *科学通报*, 2014, **59**(19): 1892-1903.
- [6] 李杏茹, 杜熙强, 王英锋, 等. 保定市大气气溶胶中正构烷烃的污染水平及来源识别[J]. *环境科学*, 2013, **34**(2): 441-447.
- [7] 胡冬梅, 彭林, 白慧玲, 等. 太原市空气颗粒物中正构烷烃分布特征及来源解析[J]. *环境科学*, 2013, **34**(10): 3733-3740.
- [8] 戚艳平, 吴莹, 张经, 等. 夏季长江口中颗粒态及溶解态正构烷烃组成和迁移[J]. *环境科学学报*, 2006, **26**(8): 1354-1361.
- [9] Pu Y, Nace T, Meyers P A, *et al.* Paleoclimate changes of the last 1000yr on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau recorded by elemental, isotopic, and molecular organic matter proxies in sediment from glacial Lake Ximencuo [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2013, **379-380**: 39-53.
- [10] Zhang Y, Liu X T, Lin Q X, *et al.* Vegetation and climate change over the past 800years in the monsoon margin of northeastern China reconstructed from *n*-alkanes from the Great Hinggan Mountain ombrotrophic peat bog [J]. *Organic Geochemistry*, 2014, **76**: 128-135.
- [11] Aichner B, Feakins S J, Lee J E, *et al.* High resolution leaf wax carbon and hydrogen isotopic record of late Holocene paleoclimate in arid Central Asia[J]. *Climate of the Past Discussions*, 2014, **10**(6): 4385-4424.
- [12] Commendatore M G, Esteves J L. Natural and anthropogenic hydrocarbons in sediments from the Chubut River (Patagonia, Argentina)[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2004, **48**(9-10): 910-918.
- [13] 胡利民, 刘季花, 石学法, 等. 渤海石油污染: 来自表层沉积物中生物标志物的证据[J]. *海洋学报*, 2013, **35**(1): 121-130.
- [14] Fang J D, Wu F C, Xiong Y Q, *et al.* Source characterization of sedimentary organic matter using molecular and stable carbon isotopic composition of *n*-alkanes and fatty acids in sediment core from Lake Dianchi, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2014, **473-474**: 410-421.
- [15] 袁道先, 朱德浩, 翁金桃, 等. 中国岩溶学[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [16] 汪智军, 梁轩, 贺秋芳, 等. 岩溶区不同植被类型下的土壤氮同位素分异特征[J]. *生态学报*, 2011, **31**(17): 4970-

- 4976.
- [17] 杨平恒, 旷颖仑, 袁文昊, 等. 降雨条件下典型岩溶流域地下水中的物质运移[J]. 环境科学, 2009, **30**(11): 3249-3255.
- [18] 杨平恒, 袁道先, 任幼蓉, 等. 川东平行岭谷区典型岩溶含水系统中 NO_3^- 的存储和运移[J]. 环境科学, 2012, **33**(9): 3124-3131.
- [19] 杨平恒. 重庆青木关地下河系统的水文地球化学特征及悬浮颗粒物运移规律[D]. 重庆: 西南大学, 2010.
- [20] 蓝家程, 孙玉川, 田萍, 等. 岩溶地下河流域水中多环芳烃污染特征及生态风险评价[J]. 环境科学, 2014, **35**(10): 3722-3730.
- [21] Wentzel A, Ellingsen T E, Kotlar H K, *et al.* Bacterial metabolism of long-chain *n*-alkanes [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2007, **76**(6): 1209-1221.
- [22] Wang Y H, Yang H, Chen X, *et al.* Molecular biomarkers for sources of organic matter in lacustrine sediments in a subtropical lake in China [J]. Environmental Pollution, 2013, **176**: 284-291.
- [23] Wang Y H, Yang H, Zhang J X, *et al.* Characterization of *n*-alkanes and their carbon isotopic composition in sediments from a small catchment of the Dianchi watershed [J]. Chemosphere, 2015, **119**: 1346-1352.
- [24] Ficken K J, Li B, Swain D L, *et al.* An *n*-alkane proxy for the sedimentary inputs of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes [J]. Organic Geochemistry, 2007, **31**(7-8): 745-749.
- [25] 王志远, 刘占红, 易轶, 等. 不同气候和植被区现代土壤类脂物分子特征及其意义[J]. 土壤学报, 2003, **40**(6): 967-970.
- [26] Xie S C, Yi Y, Liu Y Y, *et al.* The Pleistocene vermicular red earth in South China signaling the global climatic change: The molecular fossil record [J]. Science in China (Series D), 2007, **46**(11): 1113-1120.
- [27] Bourbonniere R A, Meyers P A. Sedimentary geolipid records of historical changes in the watersheds and productivities of Lakes Ontario and Erie [J]. Limnology and Oceanography, 2006, **41**(2): 352-359.

CONTENTS

Characterizing Beijing's Airborne Bacterial Communities in PM _{2.5} and PM ₁₀ Samples During Haze Pollution Episodes Using 16S rRNA Gene Analysis Method	WANG Bu-ying, LANG Ji-dong, ZHANG Li-na, <i>et al.</i> (2727)
Distribution Characteristics and Source Analysis of Dustfall Trace Elements During Winter in Beijing	XIONG Qiu-lin, ZHAO Wen-ji, GUO Xiao-yu, <i>et al.</i> (2735)
Pollution Characteristics of Aldehydes and Ketones Compounds in the Exhaust of Beijing Typical Restaurants	CHENG Jing-chen, CUI Tong, HE Wan-qing, <i>et al.</i> (2743)
Emission Characteristics of Vehicle Exhaust in Beijing Based on Actual Traffic Flow Information	FAN Shou-bin, TIAN Ling-di, ZHANG Dong-xu, <i>et al.</i> (2750)
Chemical Compositions in PM _{2.5} and Its Impact on Visibility in Summer in Pearl River Delta, China	YANG Yi-hong, QU Qun, LIU Sui-xin, <i>et al.</i> (2758)
Health Risk Assessment of Tunnel Workers Based on the Investigation and Analysis of Occupational Exposure to PM ₁₀	XIANG Hua-li, YANG Jun, QIU Zhen-zhen, <i>et al.</i> (2768)
Analysis on Emission Inventory and Temporal-Spatial Characteristics of Pollutants from Key Coal-Fired Stationary Sources in Jiangsu Province by On-Line Monitoring Data	ZHANG Ying-jie, KONG Shao-fei, TANG Li-li, <i>et al.</i> (2775)
Hydrogen and Oxygen Isotopic Compositions of Precipitation and Its Water Vapor Sources in Eastern Qaidam Basin	ZHU Jian-jia, CHEN Hui, GONG Guo-li (2784)
Distribution Characteristics of Sedimentary Pigments in the Changjiang Estuary and Zhe-Min Coast and Its Implications	LI Dong, YAO Peng, ZHAO Bin, <i>et al.</i> (2791)
Nutrients Input Characteristics of the Yangtze River and Wangyu River During the "Water Transfers on Lake Taihu from the Yangtze River"	PAN Xiao-xue, MA Ying-qun, QIN Yan-wen, <i>et al.</i> (2800)
Pollution Characteristics of Surface Runoff of Typical Town in Chongqing City	WANG Long-tao, DUAN Bing-zheng, ZHAO Jian-wei, <i>et al.</i> (2809)
Effect of Water and Sediment Regulation on the Transport of Particulate Organic Carbon in the Lower Yellow River	ZHANG Ting-ting, YAO Peng, WANG Jin-peng, <i>et al.</i> (2817)
Concentration and Source of Dissolved Organic Carbon in Snowpits of the Tibetan Plateau	YAN Fang-ping, KANG Shi-chang, CHEN Peng-fei, <i>et al.</i> (2827)
Variations of Inorganic Carbon and Its Impact Factors in Surface-Layer Waters in a Groundwater-Fed Reservoir in Karst Area, SW China	LI Jian-hong, PU Jun-bing, YUAN Dao-xian, <i>et al.</i> (2833)
Modeling the Influencing Factors of Karstification and Karst Carbon Cycle in Laboratory	ZHAO Rui-yi, LÜ Xian-fu, DUAN Yi-fan (2843)
Distribution Characteristics and Ecological Risk Assessment of HCHs and DDTs in Surface Water Bodies in Xinxiang	FENG Jing-lan, YU Hao, LIU Shu-hui, <i>et al.</i> (2849)
Comparison Study of the Alkanes in Different Aquifer Medium Under Qingmuguan Underground System	LIANG Zuo-bing, SUN Yu-chuan, WANG Zun-bo, <i>et al.</i> (2857)
Spatial Distribution Characteristics of Different Species Mercury in Water Body of Changshou Lake in Three Gorges Reservoir Region	BAI Wei-yang, ZHANG Cheng, ZHAO Zheng, <i>et al.</i> (2863)
Influence of Marine Aquaculture Around Coal Power Plant on Mercury Species Change in Aquatic Ecological Environment	LIANG Peng, WANG Yuan-na, YOU Qiong-zhi, <i>et al.</i> (2870)
Using $\delta^{34}\text{S}\text{-SO}_4^{2-}$ and $\delta^{15}\text{N}\text{-NO}_3^-$, $\delta^{18}\text{O}\text{-NO}_3^-$ to Trace the Sources of Sulfur and Nitrate in Lihu Lake Underground Water, Guangxi, China	Li Rui, XIAO Qiong, LIU Wen, <i>et al.</i> (2877)
Ecological Effects of Algae Blooms Cluster: The Impact on Chlorophyll and Photosynthesis of the Water Hyacinth	LIU Guo-feng, HE Jun, YANG Yi-zhong, <i>et al.</i> (2887)
Influence of Natural Dissolved Organic Matter on the Passive Sampling Technique and Its Application	YU Shang-yun, ZHOU Yan-mei (2895)
Adhesion Force Analysis of Protein Fouling of PVDF Ultrafiltration Membrane Using Atomic Force Microscope	WANG Xu-dong, ZHOU Miao, MENG Xiao-rong, <i>et al.</i> (2900)
Influence of CNTs on Photodegradation of Salbutamol in Water Environment	WANG Qi, HAN Jia-rui, WEI Bo-fan, <i>et al.</i> (2906)
Preparation of $\beta\text{-In}_2\text{S}_3$ and Catalytic Degradation of Oxytetracycline Under Solar Light Irradiation	AI Cui-ling, ZHOU Dan-dan, ZHANG Rong-rong, <i>et al.</i> (2911)
Nitrogen Release Performance of Sediments in Drainage Pipeline	CHEN Hong, ZHUO Qiong-fang, XU Zhen-cheng, <i>et al.</i> (2918)
Analysis of Precipitation Formation in Biofilm CANON Reactor and Its Effect on Nitrogen Removal	FU Kun-ming, WANG Hui-fang, ZUO Zao-rong, <i>et al.</i> (2926)
Optimization of Energy Saving Measures with ABR-MBR Integrated Process	WU Peng, LU Shuang-jun, XU Yue-zhong, <i>et al.</i> (2934)
Abundance and Community Composition of Ammonia-Oxidizing Archaea in Two Completely Autotrophic Nitrogen Removal over Nitrite Systems	GAO Jing-feng, LI Ting, ZHANG Shu-jun, <i>et al.</i> (2939)
Formation Mechanism of Aerobic Granular Sludge and Removal Efficiencies in Integrated ABR-CSTR Reactor	WU Kai-cheng, WU Peng, XU Yue-zhong, <i>et al.</i> (2947)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Surface Soil of Pearl River Delta Economic Zone	DOU Lei, YANG Guo-yi (2954)
Risk Assessment of Heavy Metal Contamination in Farmland Soil in Du'an Autonomous County of Guangxi Zhuang Autonomous Region, China	WU Yang, YANG Jun, ZHOU Xiao-yong, <i>et al.</i> (2964)
Assessment of Heavy Metal Pollution and Its Health Risk of Surface Dusts from Parks of Kaifeng, China	DUAN Hai-jing, CAI Xiao-qiang, RUAN Xin-ling, <i>et al.</i> (2972)
Responses of Soil and Plant ^{15}N Natural Abundance to Long-term N Addition in an N-Saturated <i>Pinus massoniana</i> Forest in Southwest China	LIU Wen-jing, KANG Rong-hua, ZHANG Ting, <i>et al.</i> (2981)
Latitudinal Changes in Plant Stoichiometric and Soil C, N, P Stoichiometry in Loess Plateau	LI Ting, DENG Qiang, YUAN Zhi-You, <i>et al.</i> (2988)
Open-top Chamber for <i>in situ</i> Research on Response of Mercury Enrichment in Rice to the Rising Gaseous Elemental Mercury in the Atmosphere	CHEN Jian, WANG Zhang-wei, ZHANG Xiao-shan, <i>et al.</i> (2997)
Influence of Uranium in <i>Pteris vittata</i> L. Inoculated by Arbuscular Mycorrhizal Fungus	ZHENG Wen-jun, WANG Ming-yuan (3004)
Impact on the Microbial Biomass and Metabolic Function of Carbon Source by Black Soil During Rice Cultivation	ZHAO Zhi-rui, CUI Bing-jian, HOU Yan-lin, <i>et al.</i> (3011)
Effect of Decomposing Products of Immobilized Carriers on Desorption of Pyrene in Contaminated Soil	TONG Dong-li, SHUANG Sheng-qing, LI Xiao-jun, <i>et al.</i> (3018)
Solidification/Stabilization of Chromite Ore Processing Residue (COPR) Using Zero-Valent Iron and Lime-Activated Ground Granulated Blast Furnace Slag	CHEN Zhong-lin, LI Jin-chunzi, WANG Bin-yuan, <i>et al.</i> (3026)
Stabilization of Cadmium Contaminated Soils by Ferric Ion Modified Attapulgite (Fe/ATP): Characterizations and Stabilization Mechanism	YANG Rong, LI Hong-bo, ZHOU Yong-li, <i>et al.</i> (3032)
Improving Agricultural Safety of Soils Contaminated with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by In Situ Bioremediation	JIAO Hai-hua, PAN Jian-gang, XU Sheng-jun, <i>et al.</i> (3038)
Competence of Cd Phytoremediation in Cd-OCDF Co-contaminated Soil Using <i>Mirabilis jalapa</i> L.	ZHANG Xing-li, ZOU Wei, ZHOU Qi-xing (3045)
Effects of Soil Moisture on Phytoremediation of As-Contaminated Soils Using As-Hyperaccumulator <i>Pteris vittata</i> L.	LIU Qiu-xin, YAN Xiu-lan, LIAO Xiao-yong, <i>et al.</i> (3056)
Effects of Phosphate Rock and Decomposed Rice Straw Application on Lead Immobilization in a Contaminated Soil	TANG Fan, HU Hong-qing, SU Xiao-juan, <i>et al.</i> (3062)
Residue and Degradation of Roxarsone in the System of Soil-Vegetable	SHAO Ting, YAO Chun-xia, SHEN Yuan-yuan, <i>et al.</i> (3068)
Acute Toxicity and Safety Assessment of Three Typical Organic Pollutants to Two Aquatic Organisms	YANG Yang, LI Ya-jie, CUI Yi-bin, <i>et al.</i> (3074)
Effects of Oil Pollutants on the Performance of Marine Benthonic Microbial Fuel Cells and Its Acceleration of Degradation	MENG Yao, FU Yu-bin, LIANG Sheng-kang, <i>et al.</i> (3080)
Microwave In-situ Regeneration of Cu-Mn-Ce/ZSM Catalyst Adsorbed Toluene and Distribution of Bed Temperature	HU Xue-jiao, BO Long-li, LIANG Xin-xin, <i>et al.</i> (3086)
Impact of Thermal Treatment on Biogas Production by Anaerobic Digestion of High-solid-content Swine Manure	HU Yu-ying, WU Jing, WANG Shi-feng, <i>et al.</i> (3094)
Impact of Phosphogypsum Wastes on the Wheat Growth and CO ₂ Emissions and Evaluation of Economic-environmental Benefit	LI Ji, WU Hong-sheng, GAO Zhi-qiu, <i>et al.</i> (3099)
Status Quo, Uncertainties and Trends Analysis of Environmental Risk Assessment for PFASs	HAO Xue-wen, LI Li, WANG Jie, <i>et al.</i> (3106)

《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 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2015年8月15日 第36卷 第8期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 8 Aug. 15, 2015

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行