

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第1期

Vol.36 No.1

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

2013年夏季典型光化学污染过程中长三角典型城市O ₃ 来源识别	李浩, 李莉, 黄成, 安静宇, 严茹莎, 黄海英, 王杨君, 卢清, 王倩, 楼晟荣, 王红丽, 周敏, 陶士康, 乔利平, 陈明华(1)
厦门冬春季大气VOCs的污染特征及臭氧生成潜势	徐慧, 张晗, 邢振雨, 邓君俊(11)
近10年海南岛大气NO ₂ 的时空变化及污染物来源解析	符传博, 陈有龙, 丹利, 唐家翔(18)
稻草烟尘中有机碳/元素碳及水溶性离子的组成	洪蕾, 刘刚, 杨孟, 徐慧, 李久海, 陈惠雨, 黄柯, 杨伟宗, 吴丹(25)
气相色谱-脉冲氦离子化检测法(GC-PDHID)分析大气中分子氢(H ₂)浓度	栾天, 方双喜, 周凌晔, 王红阳, 张根(34)
小浪底水库影响下的黄河花园口站和小浪底站pCO ₂ 特征及扩散通量	张永领, 杨小林, 张东(40)
夏季中国东海生源有机硫化物的分布及其影响因素研究	李江萍, 张洪海, 杨桂朋(49)
基于Landsat 8影像估算新安江水库总悬浮物浓度	张毅博, 张运林, 查勇, 施坤, 周永强, 王明珠(56)
温瑞塘河流域水体污染时空分异特征及污染源识别	马小雪, 王腊春, 廖玲玲(64)
人类活动影响下水化学特征的影响: 以西江中上游流域为例	于爽, 孙平安, 杜文越, 何师意, 李瑞(72)
太湖梅梁湾不同形态磷周年变化规律及藻类响应研究	汪明, 武晓飞, 李大鹏, 李祥, 黄勇(80)
鄱阳湖沉积物可转化态氮分布特征及其对江湖关系变化的响应	沈洪艳, 张绵绵, 倪兆奎, 王圣瑞(87)
影响浑太河流域大型底栖动物群落结构的环境因子分析	李艳利, 李艳粉, 徐宗学(94)
水华生消过程对巢湖沉积物微生物群落结构的影响	刁晓君, 李一葳, 王曙光(107)
蓝藻水华聚集对水葫芦生理生态的影响	吴婷婷, 刘国锋, 韩士群, 周庆, 唐婉莹(114)
汞在小浪底水库的赋存形态及其时空变化	程柳, 毛宇翔, 麻冰涓, 王梅(121)
三峡库区典型农田小流域土壤汞的空间分布特征	王娅, 赵铮, 木志坚, 王定勇, 余亚伟(130)
三峡库区农林复合小流域水体汞的时空变化特征	赵铮, 王娅, 木志坚, 王定勇(136)
环境条件对三峡库区消落带土壤中邻苯二甲酸二丁酯向上覆水静态迁移释放的影响	宋娇艳, 木志坚, 王强, 杨志丹, 王法(143)
三峡库区消落带土壤中溶解性有机质(DOM)吸收及荧光光谱特征	高洁, 江韬, 李璐璐, 陈雪霜, 魏世强, 王定勇, 闫金龙, 赵铮(151)
舟山渔场有色溶解有机物(CDOM)的三维荧光-平行因子分析	周倩倩, 苏荣国, 白莹, 张传松, 石晓勇(163)
太原市小店污灌区地下水中多环芳烃与有机氯农药污染特征及分布规律	李佳乐, 张彩香, 王焰新, 廖小平, 姚林林, 刘敏, 徐亮(172)
厦门杏林湾水系表层沉积物中PAHs分析与风险评估	程启明, 黄青, 廖祯妮, 苏丽, 刘兴强, 唐剑锋(179)
两种不同的地下水污染风险评价体系对比分析: 以北京市平原区为例	王红娜, 何江涛, 马文洁, 许真(186)
大冶湖滨岸带重金属水-土迁移特征与风险评价	张家泉, 李秀, 张全发, 李琼, 肖文胜, 王永奎, 张建春, 盖希光(194)
铁盐絮凝法从阳宗海湖水中除砷研究与现场扩大试验	陈景, 张曙, 杨项军, 黄章杰, 王世雄, 王莞, 韦群燕, 张艮林, 肖军(202)
铋银氧化物混合物高效氧化降解四溴双酚A的研究	陈满堂, 宋洲, 王楠, 丁耀彬, 廖海星, 朱丽华(209)
一种纳米级不定形碳对水中四环素的吸附研究	吴亦潇, 李爱民, 汪的华, 张维昊(215)
磁性壳聚糖衍生物对阴离子染料的吸附行为	张聪璐, 胡筱敏, 赵研, 苏雷(221)
腐殖酸-高岭土复合体形成机制及对三氯乙烯的吸附	朱晓婧, 何江涛, 苏思慧(227)
降温过程对ANAMMOX工艺城市污水处理系统中微生物群落的影响	赵志瑞, 苗志加, 李铎, 崔丙健, 万敬敏, 马斌, 白志辉, 张洪勋(237)
FISH-NanoSIMS技术在环境微生物生态学上的应用研究	陈晨, 柏耀辉, 梁金松, 袁林江(244)
微囊藻毒素-LR对恶臭假单胞菌细胞活性和表面特性的影响	邓庭进, 叶锦韶, 彭辉, 刘芷辰, 刘则华, 尹华, 陈烁娜(252)
微生物除臭剂的筛选、复配及其除臭条件的优化	曾苏, 李南华, 盛洪产, 贺琨, 胡子全(259)
舟山青浜岛水体及海产品中有机氯农药的分布和富集特征	张泽洲, 邢新丽, 顾延生, 桂福坤, 祁士华, 黄焕芳, 瞿程凯, 张莉(266)
四川凉山藏彝青少年头发中多氯联苯污染水平的研究	周莹, 孙一鸣, 金军, 雷建容, 秦贵平, 何雪珠, 林尤静(274)
铜、毒死蜱单一与复合暴露对蚯蚓的毒性作用	徐冬梅, 王彦华, 王楠, 饶桂维(280)
外源硒对黄瓜抗性、镉积累及镉化学形态的影响	熊仕娟, 刘俊, 徐卫红, 谢文文, 陈蓉, 张进忠, 熊治庭, 王正银, 谢德体(286)
厦门市道路灰尘中铂族元素的污染特征	洪振宇, 洪有为, 尹丽倩, 陈进生, 陈衍婷, 徐玲玲(295)
洋河流域不同土地利用类型土壤硒(Se)分布及影响因素	商靖敏, 罗维, 吴光红, 徐兰, 高佳佳, 孔佩儒, 毕翔, 程志刚(301)
不同钝化剂对重金属污染土壤稳定化效应的研究	吴烈善, 曾东梅, 莫小荣, 吕宏虹, 苏翠翠, 孔德超(309)
畜禽粪便有机肥中Cu、Zn在不同农田土壤中的形态归趋和有效性动态变化	商和平, 李洋, 张涛, 苏德纯(314)
华南某市生活垃圾组成特征分析	张海龙, 李祥平, 齐剑英, 陈永亨, 方建德(325)
生物沥浸耦合类Fenton氧化调理城市污泥	刘昌庚, 张盼月, 蒋娇娇, 曾成华, 黄毅, 徐国印(333)
基于平面波导型荧光免疫传感器的双酚A检测适用性研究	徐玮琦, 张永明, 周小红, 施汉昌(338)
一种新型“Turn-on”荧光探针用于硫化氢可视化检测	刘春霞, 马兴, 魏国华, 杜宇国(343)
典型黄土区油松树干液流变化特征分析	张涵丹, 卫伟, 陈利顶, 于洋, 杨磊, 贾福岩(349)
利用巨藻发酵联产氢气与挥发性有机酸的研究	赵晓娟, 范晓蕾, 郭荣波, 薛志欣, 杨智满, 袁宪正, 邱艳玲(357)
人工纳米颗粒在水体中的行为及其对浮游植物的影响	李曼璐, 姜玥璐(365)
《环境科学》征订启事(251) 《环境科学》征稿简则(294) 信息(236, 243, 273, 300)	

四川凉山藏彝青少年头发中多氯联苯污染水平的研究

周莹¹, 孙一鸣¹, 金军^{1,2*}, 雷建容¹, 秦贵平¹, 何雪珠¹, 林尤静¹

(1. 中央民族大学生命与环境科学学院, 北京 100081; 2. 北京市食品环境与健康工程技术研究中心, 北京 100081)

摘要: 本研究采用索式提取-气相色谱-质谱(GC-MS)分析了39份来自四川省凉山州藏族、彝族青少年(11~19岁)头发样品中的12种类二噁英多氯联苯(DL-PCBs)的浓度水平及其同族体组成,并分析了其浓度与民族、食肉和饮奶习惯及性别的相关性。结果表明,头发样品中PCBs的检出率为100%,DL-PCBs的总含量为 $(102.2 \pm 14.3) \text{ pg} \cdot \text{g}^{-1}$,含量范围 $9.6 \sim 991.6 \text{ pg} \cdot \text{g}^{-1}$,表明该地区受到DL-PCBs的污染程度较轻。PCB-77、PCB-105、PCB-118为主要单体,占 $\sum$ DL-PCBs的84.7%。凉山州彝族青少年头发样品中的PCBs浓度显著高于藏族,且其浓度与每周食肉、饮奶频次具有相关性($P < 0.05$),表明通过饮食摄入的PCBs可能是造成浓度差异的原因之一。该地区藏、彝青少年女性发样中PCBs浓度显著高于男性($P < 0.05$)。

关键词: 头发; 多氯联苯; 藏族; 彝族; 青少年

中图分类号: X171.5 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)01-0274-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.01.036

Levels of Polychlorinated Biphenyls in Tibetan and Yi Adolescents' Hair from Liangshan Prefecture, Sichuan Province

ZHOU Ying¹, SUN Yi-ming¹, JIN Jun^{1,2*}, LEI Jian-rong¹, QIN Gui-ping¹, HE Xue-zhu¹, LIN You-jing¹

(1. College of Life and Environmental Sciences, Minzu University of China, Beijing 100081, China; 2. Beijing Food Environment and Health Engineering Research Center, Beijing 100081, China)

Abstract: Adolescents' (11-19 years old) hair samples ($n = 39$) collected from Liangshan prefecture, Sichuan Province were analyzed for 12 dioxin-like polychlorinated biphenyl (DL-PCBs) congeners by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The levels and distribution characteristics of DL-PCBs in Tibetan and Yi Adolescents' hair were studied, meanwhile, the relationships between the levels of DL-PCBs and the nationalities, eating habits and genders were addressed. The results indicated that the average concentration of PCBs was $(102.2 \pm 14.3) \text{ pg} \cdot \text{g}^{-1}$ with the range from $9.6 \text{ pg} \cdot \text{g}^{-1}$ to $991.6 \text{ pg} \cdot \text{g}^{-1}$. The concentration levels of this region were relatively low. PCB-77, PCB-105 and PCB-118 were the major congeners, contributing to 84.7% of the total. The levels of PCBs in Yi teenagers' hair were higher than those in Tibetan, and the concentration in hair was related to the frequency of eating meats and drinking milk per week. It might be attributed to the different eating habits of these two nationalities. When gender was considered, significantly higher concentrations were found in female than in male ($P < 0.05$).

Key words: hair; polychlorinated biphenyl (PCBs); Tibetan; Yi nationality; adolescents

多氯联苯(polychlorinated biphenyls, PCBs)是联苯的1~10位上的氢原子被一个或多个氯原子取代后形成的氯代烃类化合物,其同分异构体和同系物多达209种^[1]。PCBs具有良好的化学稳定性、热稳定性、阻燃性、导热性和绝缘性^[2],长期以来被广泛用于变压器和电容器内的绝缘介质、热交换剂、润滑剂等^[3]。由于其具有生物毒性、亲脂性、难降解性、半挥发性和高富集性等,极大地威胁了人类与动物的健康。2001年在《关于持久性有机污染物(POPs)的斯德哥尔摩公约》中,PCBs被纳入优先控制的12类持久性有机污染物之一。

虽然在20世纪80年代中后期,世界各国已停止PCBs的生产和使用,但已有相当部分的PCBs进入环境,参与到全球的生物地球化学循环中^[3]。PCBs中有12个单体被称为类二噁英多氯联苯(dioxin-like PCBs,或DL-PCBs),毒性因子较大,在

环境介质中广泛存在并通过食物链生物浓缩、放大后,对人类产生毒害作用^[4]。

目前,我国对于PCBs的研究主要集中在东部地区大气、水、土壤以及生态毒理方面,而对西南部高海拔地区少数民族人体暴露水平的研究还未见报道;在检测人体PCBs水平上,主要利用静脉血、脐带血、母乳、体脂^[5-10]等生物检测材料,很少使用头发。但头发作为具有较高的脂肪含量的生物监测物^[11,12],适合用于检测人体中脂溶性持久性有机污染物。同时有研究显示,对于普通人群,饮食是

收稿日期: 2014-06-15; 修订日期: 2014-07-27

基金项目: 高等学校新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-10-0106);中央民族大学(985)项目(MUC985-9);高等学校学科创新引智计划项目(B08044);中央民族大学本科生研究训练计划项目(GCCX2013110033)

作者简介: 周莹(1993~),女,主要研究方向为环境毒理学, E-mail: 289013356@qq.com

* 通讯联系人, E-mail: junjin3799@126.com

PCBs 进入人体的主要途径, PCBs 的污染水平与饮食具有相关性^[11,13]。凉山州是中国最大的彝族聚居区, 本研究采样地(木里藏族自治县及西昌周边各县)的现代工业基本是空白, 其发展也相当缓慢, 工业污染程度轻。同时, 该地区长期生活的藏族和彝族的饮食差异较大, 有利于进行不同民族 PCBs 浓度与饮食相关性的对比研究。因此, 为了解四川凉山彝族自治州 PCBs 的污染状况, 同时探讨人体 PCBs 暴露水平与饮食、性别的相关性, 本研究分析了四川省凉山州地区青少年头发中 PCBs 的浓度及其主要同族体构成, 并对比 PCBs 的浓度在藏族和彝族、男性和女性青少年中的差异, 以期为后续该地区的研究以及今后 PCBs 暴露途径的研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 样品的采集及饮食情况调查

2013 年 2~4 月, 在四川省凉山州大兴乡、木里县及西昌市周边各县采集了 20 份 10~19 岁彝族青少年(男性 8 份, 女性 12 份)和 19 份 11~19 岁藏族青少年(男性 11 份, 女性 8 份)后枕部头发, 每份约 2 g。采集后, 样品用洁净锡纸包好, 于 -20℃ 避光保存至分析。

采集头发的同时对被采样者进行饮食情况的问卷调查, 问卷中包括性别、年龄、民族、联系方式、食肉种类及次数/周、饮品种类及次数/周等, 为分析 PCBs 污染水平与饮食情况的相关性提供依据。

1.2 主要试剂

试剂: 甲苯(农残级, 美国 J. T. Baker)、正己烷(农残级, 北京北化精细化学品有限责任公司)、二氯甲烷(农残级, 北京北化精细化学品有限责任公司)、丙酮(农残级, 北京北化精细化学品有限责任公司)、硅胶(农残级, 粒度: 100~200 目, 2 倍体积的二氯甲烷浸泡后, 4 倍体积的二氯甲烷淋洗, 之后置于 120℃ 烘箱中 12 h, 密封备用, 德国 MERCK 公司)、酸性硅胶(活化后的硅胶 100 g 在玻璃棒搅拌下缓慢滴入浓硫酸 44 g 制成)、碱性硅胶(活化后的硅胶 100 g 在玻璃棒搅拌下缓慢滴入 1 mol·L⁻¹ NaOH 30 g 制成)。

PCB 混合标样: 多氯联苯(DL-PCBs)混合标样(IUPAC 编号)含有¹³C₁₂-PCB-81、-77、-123、-118、-114、-105、-126、-167、-156、-157、-169、-189 购自 Cambridge Isotope Laboratories。¹²C₁₂-PCB-77、-123、-118、-114、-105、-126、-167、-156、-169、-180、-189 购自 Dr. Ehrenstorfer。

1.3 实验方法

1.3.1 样品前处理

将采集的发样用超纯水超声清洗 3 次, 每次 10 min, 自然风干至恒重并称量。将样品转移至索式提取器中, 加入 80 mL 正己烷/丙酮(1:1, 体积比)混合液以及 16 μg·L⁻¹ 40 μL ¹³C-PCBs 内标, 提取 48 h。然后将提取液旋转蒸发至 2 mL, 用复合硅胶柱(复合硅胶柱由下到上依次填充: 玻璃棉、1.0 g 中性硅胶、4.0 g 碱性硅胶、1.0 g 中性硅胶、8.0 g 酸性硅胶、2.0 g 中性硅胶、4 g 无水 Na₂SO₄)净化, 用 50 mL 正己烷活化并上样, 18 mL 正己烷预淋洗, 加入 100 mL 正己烷/二氯甲烷(97:3, 体积比)洗脱; 将洗脱液进行旋转蒸发至 2 mL, 转移至 10 mL 离心管中, 氮吹浓缩, 并定容到进样小瓶中(80 μL), 待分析测定。

1.3.2 GC-MS 实验条件

样品用 Agilent 6890N-5975 气相色谱-质谱联用仪(美国 Agilent 公司)测定。

色谱条件: DB-5MS 色谱柱(30 m×0.25 mm i. d., 膜厚 0.1 μm, Agilent J&W), 进样口温度为 300℃。升温程序: 初始温度 100℃ 保持 3 min, 以 5℃·min⁻¹ 升至 270℃ 保持 3 min。载气为高纯氦气, 柱流速为 1.0 mL·min⁻¹, 采用不分流进样。

质谱条件: 负化学电离源(NCI), 选择离子监测模式(SIM), 甲烷为反应气, 离子源温度为 150℃, 四极杆温度为 150℃。PCB-81、-77 扫描离子为 *m/z* 290、292; PCB-123、-118、-114、-105、-126 扫描离子为 *m/z* 326、328; PCB-167、-156、-157、-169 扫描离子为 *m/z* 360、362; PCB-189 扫描离子为 *m/z* 394、396; ¹³C₁₂-PCBs 内标扫描离子 *m/z* 与 ¹²C₁₂-PCBs 相对应依次增加 12。

1.3.3 质量保证和质量控制(QA/QC)

为保证样品分析流程的可靠性, 尽量避免分析样品过程中可能造成的污染和损失, 将 39 份样品分 4 批进行处理, 每批样品做 2 个过程空白实验, 样品中加入 ¹³C₁₂-PCB-77、-81、-105、-114、-118、-123、-126、-156、-157、-167、-169、-189 作为内标来检测回收率。空白加标回收率为: 104.54% ± 11.26%, 过程空白中所检出的目标物含量低于样品中含量的 5%。方法检出限为: 0.26~2.34 pg·g⁻¹。

2 结果与讨论

2.1 藏、彝青少年头发中多氯联苯的浓度水平

表 1 为藏、彝青少年头发中多氯联苯同族体的

含量及检出率, $\sum$ DL-PCBs 为 $9.6 \sim 991.6 \text{ pg} \cdot \text{g}^{-1}$, 对比欧洲以头发作为生物检测物的研究, 凉山地区青少年头发中 $\sum$ DL-PCBs 的总浓度低于欧洲人发中的 PCBs 平均水平 2~3 个数量级(表 2); 而对比国内其他地区(表 2), 如北京地区儿童头发^[18]、吉林长春地区青少年头发^[19] 以及公主岭青少年头发^[11] 中 PCBs 的浓度, 凉山地区也显著低于上述国内地区, 表

明当地青少年受到 PCBs 的污染程度较轻. 刘文杰^[20] 在对四川卧龙地区土壤和大气中 PCBs 的浓度水平进行研究时, 发现 PCBs 浓度有随着海拔高度的升高而升高的趋势且具有“冷凝结”现象, PCBs 会在高海拔地区某些环境介质中相对富集. 由于本实验采样地区为高海拔较偏远山区, 几乎没有工业, 而 PCBs 主要应用在印刷业、工业和交通业, 所以该地区 PCBs 最有可能为大气传输的外来贡献.

表 1 藏、彝青少年头发中 DL-PCBs 的浓度及检出率¹⁾

Table 1 Concentrations and detection rates of DL-PCBs in the adolescents' hair of Tibetan and Yi nationality

PCBs	彝族					藏族				
	中值 $/\text{pg} \cdot \text{g}^{-1}$	浓度范围 $/\text{pg} \cdot \text{g}^{-1}$	检出率 /%	女性中值 $/\text{pg} \cdot \text{g}^{-1}$	男性中值 $/\text{pg} \cdot \text{g}^{-1}$	中值 $/\text{pg} \cdot \text{g}^{-1}$	浓度范围 $/\text{pg} \cdot \text{g}^{-1}$	检出率 /%	女性中值 $/\text{pg} \cdot \text{g}^{-1}$	男性中值 $/\text{pg} \cdot \text{g}^{-1}$
PCB-77	17.7	11.0~69.9	100	42.2	15.4	9.5	5.1~144.3	100	18.3	6
PCB-81	n. d.	n. d.~20.3	10	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	0	n. d.	n. d.
PCB-105	40.2	11.2~201.9	100	96	37.4	14.7	n. d.~149.9	84	30.4	14.5
PCB-114	4.7	n. d.~41.2	70	3.8	5	2.8	n. d.~18.5	63	2.2	2.8
PCB-118	70	19.9~374.3	100	160.8	60.5	23.6	n. d.~256.4	84	59.3	23.1
PCB-123	n. d.	n. d.~195.4	25	n. d.	n. d.	4.7	n. d.~116.3	63	11.3	4.2
PCB-126	n. d.	n. d.~4.6	20	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.~3.0	26	n. d.	n. d.
PCB-156	8.2	n. d.~41.2	95	20.1	6.4	5.8	n. d.~33.3	95	9.8	3.9
PCB-157	3.6	n. d.~15.7	80	7	1.4	1.5	n. d.~26.0	74	0.9	1.5
PCB-167	7.3	2.2~25.4	100	13.1	3.7	3.3	0.6~27.5	100	6.5	1.5
PCB-169	n. d.	n. d.~4.0	15	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.~3.0	11	n. d.	n. d.
PCB-189	0.4	0.5~5.6	50	0.5	0.6	0.4	n. d.~1.6	58	n. d.	1.5
$\sum$ PCBs	152	48.1~991.6		343.4	130.4	66.3	9.6~779.8		138.7	58.2

1) n. d. 表示未检出

表 2 凉山青少年头发中 PCBs 的浓度水平与其他地区的对比¹⁾

Table 2 Comparison of the Levels of PCBs in hair samples between Liangshan and other regions/countries in the literature

地区(国家)	样本量	单体数目	参与者	PCBs 中值(范围) $/\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$	文献
比利时	4	7	居民	25.5(5.1~44.7)	[14]
希腊	8	7	居民	7.4(1.0~17.6)	[14]
伊西(罗马尼亚)	42	5	青少年	7.7(0.9~46.0)	[15]
格但斯克(波兰)	15	6	居民	14.9(5.8~20.5)	[16]
西班牙	953	4	成人	449.6(346.1~596.7)	[17]
北京(中国)	52	14	儿童	91.0(29.0~220.0)	[18]
长春(中国)	50	30	青少年	161.0(72.2~285.3)	[19]
公主岭(中国)	23	30	青少年	68.9(32.1~105.6)	[20]
凉山(中国)	39	12	青少年	$66.3 \times 10^{-3} (9.3 \times 10^{-3} \sim 991.6 \times 10^{-3})$	本研究

2.2 藏彝青少年头发中 PCBs 同族体构成

根据图 1 可以看出 PCB-77、PCB-105、PCB-118 为凉山藏彝青少年头发中多氯联苯的主要同族体, 占 $\sum$ PCBs 的 84.7%, DL-PCBs 单体中 PCB-118 的浓度最高, 其对 DL-PCBs 浓度的贡献达 46.2%, 其次贡献较高的为 PCB-105 和 PCB-77, 贡献分别为 24.6%、13.9%, 该结果与北京居民母乳^[21]、长春儿童和青少年头发^[19]、吉林公主岭青少年头发^[11] 中 PCBs 的主要同族体构成类似, 为五

氯联苯所占比率最大. 其中张利等^[11] 在对吉林公主岭青少年头发中 PCBs 污染水平进行研究时, 分析了 PCBs 同族体构成与我国使用历史的相关性, 发现五氯联苯主要用于油漆添加剂的制造, 而油漆在我国使用广泛, 这可能是造成我国 PCBs 的污染主要以低氯代多氯联苯为主的主要原因, 同时, 这与我们生产和使用的 PCBs 主要为低氯代的事实相符^[22].

根据潘静^[23] 对四川卧龙地区的土壤和牦牛肉

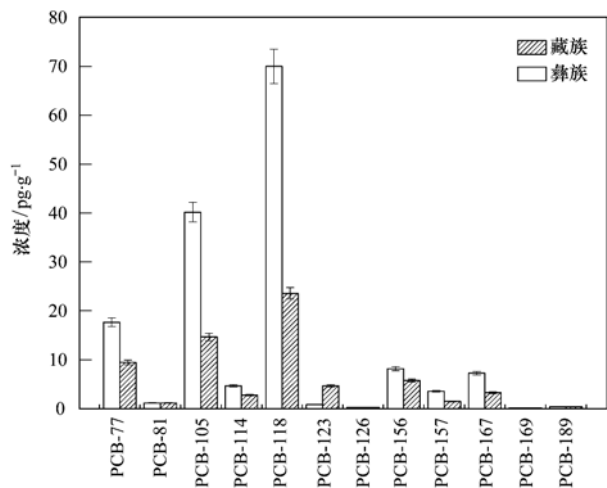


图1 凉山藏、彝青少年头发中 DL-PCBs 的中值

Fig. 1 Median levels of DL-PCBs in the adolescents' hair of Tibetan versus Yi nationality

表3 四川地区土壤、牦牛脂肪、藏彝头发中 DL-PCBs 的浓度与同族体构成百分比¹⁾

Table 3 Concentrations and the percents of congeners of DL-PCBs in soil, yaks' fat, adolescents' hair of Tibetan and Yi nationality in Sichuan province

PCBs	彝族发样 /pg·g ⁻¹ (%)	藏族发样 /pg·g ⁻¹ (%)	卧龙土壤 ^[23] /pg·g ⁻¹ dw (%)	卧龙牦牛脂肪 ^[23] /pg·g ⁻¹ (%)
PCB-77	17.7 (12)	9.5 (14)	1.4 (12)	10.7 (6)
PCB-81	n. d. (0)	n. d. (0)	n. d. (0)	n. d. (0)
PCB-105	40.2 (27)	14.7 (23)	3.7 (34)	32.6 (18)
PCB-114	4.7 (4)	2.8 (4)	n. d. (0)	4.1 (2)
PCB-118	70.0 (46)	23.6 (37)	2.2 (20)	73.7 (41)
PCB-123	n. d. (0)	4.7 (7)	1.0 (9)	8.5 (5)
PCB-126	n. d. (0)	n. d. (0)	0.8 (7)	5.1 (3)
PCB-156	8.2 (5)	5.8 (8)	0.7 (6)	20.2 (11)
PCB-157	3.6 (2)	1.5 (2)	n. d. (0)	7.2 (4)
PCB-167	7.3 (5)	3.3 (4)	0.6 (6)	11.8 (6)
PCB-169	n. d. (0)	n. d. (0)	0.5 (4)	1.2 (1)
PCB-189	0.4 (1)	0.4 (1)	n. d. (0)	6.6 (4)
∑ DL-PCB	152.0 (100)	66.3 (100)	10.9 (100)	181.8 (100)

尽管本研究样品采自同一地区,但由于当地不同少数的饮食结构有所差异,即采样地区彝族的食肉频度平均高于藏族,从表1和图1可以明显地看出,彝族发样的部分 PCBs 含量高于藏族,通过 *t*-检验(independent sample *t*-test)表明藏、彝两个民族发样中 ∑ DL-PCBs 浓度存在显著性差异($P < 0.05$). Chao 等^[27]及 Bocio 等^[28]的研究发现,PCBs 的主要贡献来源于肉类、鱼类和奶制品,由于调查地区属于山区,参与调查者很少食用鱼类,所以本研究结合调查问卷的结果分析 ∑ PCBs 浓度与食肉、饮奶次数的相关性(图2),并进行 Pearson 检验,结果发现彝族青少年头发中 PCBs 的浓度与每周食肉、饮奶的次数($R^2 = 0.286$; $P = 0.015$)、藏族青

脂肪中 12 种 DL-PCBs 的测定结果(表3),发现彝族发样与牦牛脂肪中 PCBs ($P = 0.016 < 0.05$),藏族发样与牦牛脂肪中 PCBs ($P = 0.000 < 0.01$),彝族发样与土壤中 PCBs ($P = 0.000 < 0.01$),藏族发样与土壤中 PCBs ($P = 0.002 < 0.01$),都存在着显著的相关性,说明该地区发样、土壤、脂肪中 PCBs 同族体的构成具有一致性.

2.3 头发中 PCBs 的污染水平与饮食的相关性

有研究表明,由于 PCBs 的亲脂性和化学稳定性,其易通过食物链产生生物积累和放大效应,导致其随着营养级的升高浓度逐渐增大^[24,25],而人类作为食物链最顶端的消费者,受到环境中 PCBs 污染通过食物链蓄积和放大的影响最大,所以除职业暴露人群外,通过饮食大量摄入的 PCBs 是人体中 PCBs 暴露的主要来源^[19,17,26].

少年头发中 PCBs 的浓度与每周食肉、饮奶的次数($R^2 = 0.328$; $P = 0.010$)均呈现出显著正相关性,表明饮食摄入可能是该地区藏、彝青少年头发中 PCBs 的来源之一.

2.4 不同性别头发中 PCBs 浓度比较

从表1和图3可以明显看出,女性发样中 PCB-77、-105、-118、-156、-157、-167 的浓度高于男性, *t* 检验表明不同性别发样中 ∑ PCBs 浓度存在显著性差异($P < 0.05$),且女性发样中 PCBs 浓度显著高于男性,而这与 Altshul 等^[29]对比男女头发与血液样本中 PCBs 含量,Liang 等^[19]对比吉林长春青少年男女头发中 PCBs 及 PCBs 指示同族体以及张利等^[11]对比吉林公主岭青少年男女发样中 PCBs 污染

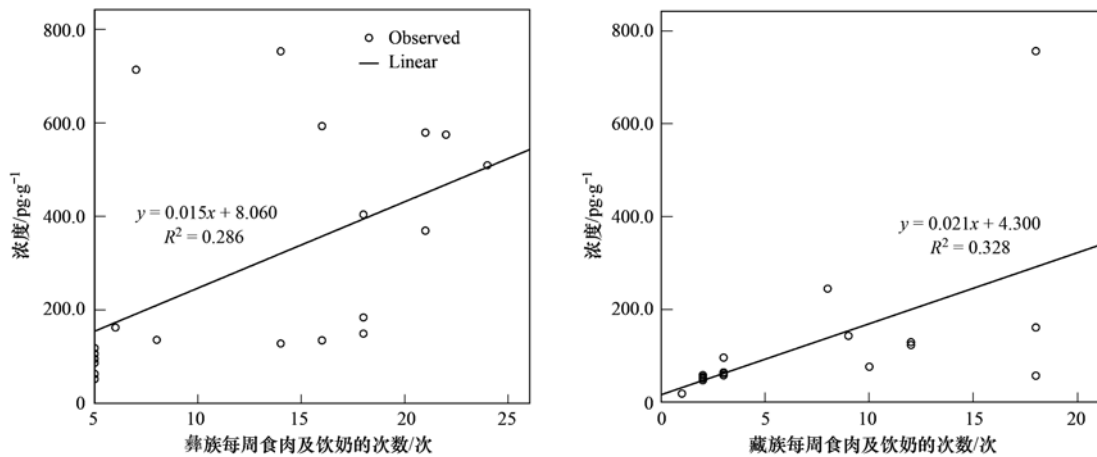


图2 藏、彝青少年发样中 DL-PCBs 的浓度与食肉、饮奶习惯散点图

Fig. 2 Scatter plots for concentrations of DL-PCBs in the adolescents' hair of Tibetan and Yi nationality and eating habits of meat and milk

水平时得到的研究结论一致。这可能是由于当地少数民族女性蓄发时间较长,头发中的 PCBs 代谢和排泄缓慢,容易长期积累^[11],女性体脂含量较高,另外,当地主要是女性下厨的习俗^[30]也可能使女性的头发更容易吸附含脂量高的油烟,从而导致其发样中 PCBs 含量显著高于男性。

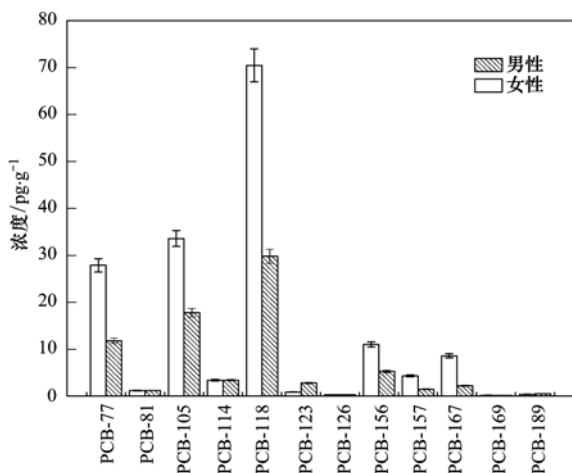


图3 凉山地区不同性别青少年发样中 DL-PCBs 的中值

Fig. 3 Median levels of DL-PCBs in the hair of males versus females in Liangshan region

3 结论

(1)四川省凉山州藏、彝青少年头发样品中 PCBs 的浓度低于国内外现有的头发中的水平,PCBs 同族体以低氯联苯为主,高氯联苯含量较低,与我国生产和使用 PCBs 的种类事实相符。

(2)彝族青少年发样中的 PCBs 浓度显著高于藏族($P < 0.05$),其浓度与每周食肉、饮奶的次数均具有相关性($P = 0.015$; $P = 0.010$),表明通过饮

食摄入的 PCBs 可能是该地区藏、彝青少年头发中 PCBs 的来源之一。

(3)凉山地区青少年发样中 PCBs 的浓度与性别有关($P < 0.05$),女性发样中的浓度显著高于男性。

参考文献:

- [1] 聂湘平. 多氯联苯的环境毒理研究动态[J]. 生态科学, 2003, 22(2): 171-176, 182.
- [2] 毕新慧, 徐晓白. 多氯联苯的环境行为[J]. 化学进展, 2000, 12(2): 152-160.
- [3] 马召辉. 太湖多氯联苯和多溴联苯醚环境行为的初步研究[D]. 北京: 中央民族大学, 2012.
- [4] 马召辉, 金军, 王英, 等. GC-NCI-MS 法测定底泥中类二噁英多氯联苯[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(10): 123-126.
- [5] Grandjean P, Grønlund C, Kjær I M, et al. Reproductive hormone profile and pubertal development in 14-year-old boys prenatally exposed to polychlorinated biphenyls [J]. Reproductive Toxicology, 2012, 34(4): 498-503.
- [6] Malarvannan G, Isobe T, Covaci A, et al. Accumulation of brominated flame retardants and polychlorinated biphenyls in human breast milk and scalp hair from the Philippines: Levels, distribution and profiles[J]. Science of the Total Environment, 2013, 442: 366-379.
- [7] 徐承敏, 俞苏霞, 蒋世熙, 等. 某固废拆解基地母乳中多氯联苯含量及其婴儿的暴露风险[J]. 卫生研究, 2006, 35(5): 604-607.
- [8] Covaci A, de Boer J, Ryan J J, et al. Distribution of organobrominated and organochlorinated contaminants in Belgian human adipose tissue[J]. Environmental Research, 2002, 88(3): 210-218.
- [9] 张琳, 田英, 杨先丰, 等. 上海市某医院新生儿脐带血中多溴联苯醚水平及其对出生结局的影响[J]. 中华预防医学杂志, 2011, 45(6): 490-493.
- [10] 何升良, 韩根根, 李朝林, 等. 母乳和脐血中多氯联苯暴露

- 水平研究[J]. 中国预防医学杂志, 2006, **7**(4): 334-336.
- [11] 张利, 陈扬, 刘新会, 等. 吉林省公主岭市青少年头发中多氯联苯污染水平的研究[J]. 环境科学, 2011, **32**(10): 3082-3087.
- [12] Tsatsakis A, Tutudaki M. Progress in pesticide and POPs hair analysis for the assessment of exposure[J]. Forensic Science International, 2004, **145**(2-3): 195-199.
- [13] Xing G H, Wu S C, Wong M H. Dietary exposure to PCBs based on food consumption survey and food basket analysis at Taizhou, China-The World's major site for recycling transformers [J]. Chemosphere, 2010, **81**(10): 1239-1244.
- [14] Covaci A, Schepens P. Chromatographic aspects of the analysis of selected persistent organochlorine pollutants in human hair [J]. Chromatographia, 2001, **53**(1): S366-S371.
- [15] Covaci A, Hura C, Gheorghe A, *et al.* Organochlorine contaminants in hair of adolescents from Iassy, Romania [J]. Chemosphere, 2008, **72**(1): 16-20.
- [16] Wielgomas B, Czarnowski W, Jansen E H J M. Persistent organochlorine contaminants in hair samples of Northern Poland population, 1968-2009[J]. Chemosphere, 2012, **89**(8): 975-981.
- [17] Agudo A, Goñi F, Etxeandia A, *et al.* Polychlorinated biphenyls in Spanish adults: determinants of serum concentrations [J]. Environmental Research, 2009, **109**(5): 620-628.
- [18] Zhang H, Chai Z F, Sun H B. Human hair as a potential biomonitor for assessing persistent organic pollutants [J]. Environment International, 2007, **33**(5): 685-693.
- [19] Liang B C, Liu X H, Hou J, *et al.* PCBs levels and indicator congeners in children's and adolescents' hair[J]. Environmental Pollution, 2014, **185**: 10-15.
- [20] 刘文杰. 卧龙地区土壤和大气中长残留有机污染物时空分布特征[D]. 长春: 吉林农业大学, 2007.
- [21] 席铁举, 李胜浓, 蒋友胜, 等. 垃圾焚烧厂周边哺乳妇女母乳中二噁英负荷水平及影响因素[J]. 现代预防医学, 2013, **40**(8): 1403-1407.
- [22] 降巧龙, 周海燕, 徐殿斗, 等. 国产变压器油中多氯联苯及其异构体分布特征[J]. 中国环境科学, 2007, **27**(5): 608-612.
- [23] 潘静. 典型东部沿海和西部高原地区持久性有机污染物的污染特征研究[D]. 上海: 东华大学, 2008.
- [24] Borja J, Taleon D M, Aurensen J, *et al.* Polychlorinated biphenyls and their biodegradation [J]. Process Biochemistry, 2005, **40**(6): 1999-2013.
- [25] Park J S, Linderholm L, Charles M J, *et al.* Polychlorinated biphenyls and their hydroxylated metabolites (OH-PCBS) in pregnant women from eastern Slovakia[J]. Environmental Health Perspectives, 2007, **115**(1): 20-27.
- [26] Bakker M I, Baars A J, Baumann B, *et al.* Indicator PCBs in foodstuffs: occurrence and dietary intake in The Netherlands at the end of the 20th century [R]. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), and RIKILT, 2003.
- [27] Chao H R, Wang S L, Lee C C, *et al.* Level of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins, dibenzofurans and biphenyls (PCDD/Fs, PCBs) in human milk and the input to infant body burden[J]. Food and Chemical Toxicology, 2004, **42**(8): 1299-1308.
- [28] Bocio A, Domingo J L, Falcó G, *et al.* Concentrations of PCDD/PCDFs and PCBs in fish and seafood from the Catalan (Spain) market; estimated human intake[J]. Environment International, 2007, **33**(2): 170-175.
- [29] Altshul L, Covaci A, Hauser R. The relationship between levels of PCBs and pesticides in human hair and blood: preliminary results [J]. Environmental Health Perspectives, 2004, **112**(11): 1193-1199.
- [30] 王政. 社会性别研究在国内外的的发展[J]. 中华女子学院山东分院学报, 2009, (5): 1-7.

CONTENTS

Ozone Source Apportionment at Urban Area during a Typical Photochemical Pollution Episode in the Summer of 2013 in the Yangtze River Delta	LI Hao, LI Li, HUANG Cheng, <i>et al.</i>	(1)
Pollution Characteristics and Ozone Formation Potential of Ambient VOCs in Winter and Spring in Xiamen	XU Hui, ZHANG Han, XING Zhen-yu, <i>et al.</i>	(11)
Temporal and Spatial Characteristics of Atmospheric NO ₂ over Hainan Island and the Pollutant Sources in Recent 10 Years	FU Chuan-bo, CHEN You-long, DAN Li, <i>et al.</i>	(18)
Composition of Organic Carbon/Elemental Carbon and Water-soluble Ions in Rice Straw Burning	HONG Lei, LIU Gang, YANG Meng, <i>et al.</i>	(25)
Gas Chromatography with a Pulsed Discharge Helium Ionization Detector for Measurement of Molecular Hydrogen(H ₂) in the Atmosphere	LUAN Tian, FANG Shuang-xi, ZHOU Ling-xi, <i>et al.</i>	(34)
Partial Pressure of CO ₂ and CO ₂ Degassing Fluxes of Huayankou and Xiaolangdi Station Affected by Xiaolangdi Reservoir	ZHANG Yong-ling, YANG Xiao-lin, ZHANG Dong	(40)
Distribution of Biogenic Organic Dimethylated Sulfur Compounds and Its Influencing Factors in the East China Sea in Summer	LI Jiang-ping, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng	(49)
Remote Sensing Estimation of Total Suspended Matter Concentration in Xin'anjiang Reservoir Using Landsat 8 Data	ZHANG Yi-bo, ZHANG Yun-lin, ZHA Yong, <i>et al.</i>	(56)
Spatio-temporal Characteristics and Source Identification of Water Pollutants in Wenritang River Watershed	MA Xiao-xue, WANG La-chun, LIAO Ling-ling	(64)
Effect of Hydrochemistry Characteristics Under Impact of Human Activity: A Case Study in the upper Reaches of the Xijiang River Basin	YU Shi, SUN Ping-an, DU Wen-yue, <i>et al.</i>	(72)
Annual Variation of Different Phosphorus Forms and Response of Algae Growth in Meiliang Bay of Taihu Lake	WANG Ming, WU Xiao-fei, LI Da-peng, <i>et al.</i>	(80)
Distribution of Transferable Nitrogen in Poyang Lake Sediments and Its Response to the Variation of River-Lake Relationship	SHEN Hong-yan, ZHANG Mian-mian, NI Zhao-kui, <i>et al.</i>	(87)
Effect of Environmental Factors on Macroinvertebrate Community Structure in the Huntai River Basin in the Huntai River Basin	LI Yan-li, LI Yan-fen, XU Zong-xue	(94)
Effects of Outbreak and Extinction of Algal Blooms on the Microbial Community Structure in Sediments of Chaohu Lake	DIAO Xiao-jun, LI Yi-wei, WANG Shu-guang	(107)
Impacts of Algal Blooms Accumulation on Physiological Ecology of Water Hyacinth	WU Ting-ting, LIU Guo-feng, HAN Shi-qun, <i>et al.</i>	(114)
Speciation and Spatial-temporal Variation of Mercury in the Xiaolangdi Reservoir	CHENG Liu, MAO Yu-xiang, MA Bing-juan, <i>et al.</i>	(121)
Spatial Distribution of Mercury in Soils of a Typical Small Agricultural Watershed in the Three Gorges Reservoir Region	WANG Ya, ZHAO Zheng, MU Zhi-jian, <i>et al.</i>	(130)
Temporal and Spatial Variation of Mercury in Water of Agro-forestry and Livestock Compound Watershed in the Three Gorges Reservoir Area	ZHAO Zheng, WANG Ya, MU Zhi-jian, <i>et al.</i>	(136)
Effect of External Condition on the Static Migration and Release of Dibutyl-phthalate in the Soil of the Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir to the Overlying Water	SONG Jiao-yan, MU Zhi-jian, WANG Qiang, <i>et al.</i>	(143)
Ultraviolet-Visible(UV-Vis) and Fluorescence Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter(DOM) in Soils of Water-Level Fluctuation Zones of the Three Gorges Reservoir Region	GAO Jie, JIANG Tao, LI Lu-lu, <i>et al.</i>	(151)
Characterization of Chromophoric Dissolved Organic Matter(CDOM) in Zhoushan Fishery Using Excitation-Emission Matrix Spectroscopy(EEMs) and Parallel Factor Analysis(PARAFAC)	ZHOU Qian-qian, SU Rong-guo, BAI Ying, <i>et al.</i>	(163)
Pollution Characteristics and Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Organochlorine Pesticides in Groundwater at Xiaodian Sewage Irrigation Area, Taiyuan City	LI Jia-le, ZHANG Cai-xiang, WANG Yan-xin, <i>et al.</i>	(172)
Risk Assessment and Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Surface Sediments of Xinglin Bay Suburb Rivers of Xiamen	CHENG Qi-ming, HUANG Qing, LIAO Zhen-ni, <i>et al.</i>	(179)
Comparative Analysis of Two Different Methods for Risk Assessment of Groundwater Pollution: A Case Study in Beijing Plain	WANG Hong-na, HE Jiang-tao, MA Wen-jie, <i>et al.</i>	(186)
Transportation and Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Water-Soil from the Riparian Zone of Daye Lake, China	ZHANG Jia-quan, LI Xiu, ZHANG Quan-fa, <i>et al.</i>	(194)
Arsenic Removal by Coagulation Process and the Field Expanding Experiments for Yangzonghai Lake	CHEN Jing, ZHANG Shu, YANG Xiang-jun, <i>et al.</i>	(202)
Efficient Oxidative Degradation of Tetrabromobisphenol A by Silver Bismuth Oxide	CHEN Man-tang, SONG Zhou, WANG Nan, <i>et al.</i>	(209)
Removal of Tetracycline by a Kind of Nano-Sized Amorphous Carbon	WU Yi-xiao, LI Ai-min, WANG Di-hua, <i>et al.</i>	(215)
Adsorption Behavior of Anionic Dyes onto Magnetic Chitosan Derivatives	ZHANG Cong-lu, HU Xiao-min, ZHAO Yan, <i>et al.</i>	(221)
Forming Mechanism of Humic Acid-Kaolin Complexes and the Adsorption of Trichloroethylene	ZHU Xiao-jing, HE Jiang-tao, SU Si-hui	(227)
Impact on the Microbial Community of Municipal Sewage in the ANAMMOX System During the Cooling Process	ZHAO Zhi-rui, MIAO Zhi-jia, LI Duo, <i>et al.</i>	(237)
Application of FISH-NanoSIMS Technique in Environmental Microbial Ecology Study	CHEN Chen, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i>	(244)
Influence of Microcystin-LR on Cell Viability and Surface Characteristics of <i>Pseudomonas putida</i>	DENG Ting-jin, YE Jin-shao, PENG Hui, <i>et al.</i>	(252)
Screening, Combination of Microbial Deodorizer and the Optimization of Its Deodorizing Conditions	ZENG Su, LI Nan-hua, SHENG Hong-chan, <i>et al.</i>	(259)
Distribution and Enrichment Characteristics of Organochlorine Pesticides in Water and Halobios from Qingbang Island in Zhoushan, China	ZHANG Ze-zhou, XING Xin-li, GU Yan-sheng, <i>et al.</i>	(266)
Levels of Polychlorinated Biphenyls in Tibetan and Yi Adolescents' Hair from Liangshan Prefecture, Sichuan Province	ZHOU Ying, SUN Yi-ming, JIN Jun, <i>et al.</i>	(274)
Effects of Single and Co-Exposure of Cu and Chlorpyrifos on the Toxicity of Earthworm	XU Dong-mei, WANG Yan-hua, WANG Nan, <i>et al.</i>	(280)
Effect of Exogenous Selenium on Accumulation and Chemical Forms of Cadmium in Cucumber(<i>Cucumis sativus</i> L.)	XIONG Shi-juan, LIU Jun, XU Wei-hong, <i>et al.</i>	(286)
Pollution Characteristics of Platinum Group Elements in Road Rust in Xiamen	HONG Zhen-yu, HONG You-wei, YIN Li-qian, <i>et al.</i>	(295)
Spatial Distribution of Se in Soils from Different Land Use Types and Its Influencing Factors Within the Yanghe Watershed, China	SHANG Jing-min, LUO Wei, WU Guang-hong, <i>et al.</i>	(301)
Immobilization Impact of Different Fixatives on Heavy Metals Contaminated Soil	WU Lie-shan, ZENG Dong-mei, MO Xiao-rong, <i>et al.</i>	(309)
Form Tendency and Bio-availability Dynamics of Cu and Zn in Different Farm Soils After Application of Organic Fertilizer of Livestock and Poultry Manures	SHANG He-ping, LI Yang, ZHANG Tao, <i>et al.</i>	(314)
Analysis of Composition Characteristics of Municipal Solid Waste in South China	ZHANG Hai-long, LI Xiang-ping, QI Jian-ying, <i>et al.</i>	(325)
Sewage Sludge Conditioning by Bioleaching Combined with Fenton-like Oxidation	LIU Chang-geng, ZHANG Pan-yue, JIANG Jiao-jiao, <i>et al.</i>	(333)
Applicability of Bisphenol A Detection by a Planar Waveguide Fluorescent Biosensor	XU Wei-qi, ZHANG Yong-ming, ZHOU Xiao-hong, <i>et al.</i>	(338)
A New "Turn-on" Fluorescent Probe for Visual Detection of Hydrogen Sulfide	LIU Chun-xia, MA Xing, WEI Guo-hua, <i>et al.</i>	(343)
Analysis of Sap Flow Characteristics of the Chinese Pine in Typical Loess Plateau Region of China	ZHANG Han-dan, WEI Wei, CHEN Li-ding, <i>et al.</i>	(349)
Simultaneous Production of Hydrogen and Volatile Fatty Acid from <i>Macrocystis pyrifera</i>	ZHAO Xiao-xian, FAN Xiao-lei, GUO Rong-bo, <i>et al.</i>	(357)
Behaviors of Engineered Nanoparticles in Aquatic Environments and Impacts on Marine Phytoplankton	LI Man-lu, JIANG Yue-lu	(365)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2015年1月15日 第36卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 1 Jan. 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