

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第38卷 第6期

Vol.38 No.6

2017

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

PM _{2.5} 浓度空间分异模拟模型对比:以京津冀地区为例	吴健生,王茜,李嘉诚,涂媛杰(2191)
北京地区近35年大气污染扩散条件变化	郭淳薇,孙兆彬,李梓铭,张小玲,杨慧玲(2202)
北京市典型区域夏季降水及其对大气污染物的影响	韩力慧,张海亮,向欣,张鹏,程水源,魏巍(2211)
北京山谷风环流特征分析及其对PM _{2.5} 浓度的影响	董群,赵普生,王迎春,苗世光,高健(2218)
北京市建筑施工扬尘排放特征	薛亦峰,周震,黄玉虎,王堃,聂滕,聂磊,秦建平(2231)
生物质成型燃料锅炉挥发性有机物排放特征	吴昌达,张春林,白莉,沈雨冉,王伯光,刘军,杨立辉(2238)
广州番禺大气成分站复合污染过程VOCs对O ₃ 与SOA的生成潜势	邹宇,邓雪娇,李菲,殷长泰(2246)
南京北郊大气臭氧周末效应特征分析	王俊秀,安俊琳,邵平,邹嘉南,林旭,张玉欣(2256)
亚热带稻区大气氨/铵态氮污染特征及干湿沉降	王杰飞,朱潇,沈健林,曾冠军,王娟,吴金水,李勇(2264)
宣威肺癌高发区燃煤排放颗粒物中铁的价态及其氧化性	王强翔,谭正莹,赵慧,李继华,田林玮,王青曜,米持真一,吕森林(2273)
垃圾焚烧厂区二噁英污染及厂区工人呼吸暴露评估	杜国勇,汪倩,张姝琳,张素坤,邓春萍,张洪铭,朱盟翔,蒋昕,朱成旺,任燕玲(2280)
重庆市新型干法水泥厂汞排放特征	张成,张雅惠,王永敏,王定勇,罗程钟,徐凤,何秀清(2287)
轻型汽油车简易瞬态工况法与定容全流稀释采样法(CVS)的排放相关性	王鸿宇,黄成,胡馨遥,李莉,陈勇航,徐健(2294)
不同排放标准公交车燃用生物柴油颗粒物排放特性	楼狄明,赵成志,徐宁,谭丕强,胡志远(2301)
西江水氢氧同位素组成的空间变化及环境意义	许琦,李建鸿,孙平安,何师意,于爽(2308)
基于SWAT与DNDC模型对比研究亚热带流域氮淋溶与输出过程	韩宁,陈维梁,高扬,郝卓,于贵瑞(2317)
三峡库区澎溪河与磨刀溪电导率等水质特征与水华的关系比较	姜伟,周川,纪道斌,刘德富,任豫霜,Douglas Haffner,谢德体,张磊(2326)
滇池草海间隙水与上覆水氮磷时空变化特征	王一茹,王圣瑞,焦立新,张云,高秋生,杨枫(2336)
香溪河沉积物、间隙水的磷分布特征及释放通量估算	罗玉红,聂小倩,李晓玲,戴泽龙,胥焘,黄应平(2345)
大冶湖表层水和沉积物中重金属污染特征与风险评价	张家泉,田倩,许大毛,占长林,刘婷,姚瑞珍,刘先利,肖文胜(2355)
海水淡化低温多效蒸馏工艺(LT-MED)沿程溴代消毒副产物的生成	齐菲,孙迎雪,杨哲,胡春芳,常学明,胡洪营(2364)
两种水体铜配合容量测试方法的适用性比较及应用	王晨烨,姜括,谢文龙,汪磊(2373)
高地下水位地区透水铺装控制径流污染的现场实验	金建荣,李田,时珍宝(2379)
稳定型纳米零价铁去除地下水中2,4-二氯苯酚	张永祥,常杉,李飞,徐毅,高维春(2385)
超声、紫外增强H ₂ O ₂ /KI降解磺胺甲基嘧啶	魏红,孙博成,杨小雨,李克斌(2393)
不同铅负载量改性膨润土对水中磷酸盐吸附作用的对比	姜博汇,林建伟,詹艳慧,邢云青,黄宏,储鸣,王星星(2400)
铁炭内电解垂直流人工湿地对污水厂尾水深度脱氮效果	郑晓英,朱星,周翔,徐亚东,王菊,韦诚,高雅洁,周橄(2412)
组合生物滤池对养殖废水的净化效率及影响因素分析	张世羊,张胜花,张翔凌,王广军(2419)
温度对聚磷菌活性及基质竞争的影响	张玲,彭党聪,常蝶(2429)
海洋厌氧氨氧化菌的富集培养及其脱氮特性	冯莉,于德爽,李津,单晓静,杨振琳(2435)
不同生物过滤系统铵态氮转化速率及生物膜特性分析	周洪玉,韩梅琳,仇天雷,高敏,孙兴滨,王旭明(2444)
磷酸盐对厌氧氨氧化活性污泥脱氮效能的影响	周正,刘凯,王凡,林兴,李祥,黄勇,顾澄伟(2453)
碳源胁迫下脱氮除磷颗粒污泥性能变化及其机制	秦诗友,陈威,马兆瑞,刘小英,陈晓国,余文韬,夏媛媛,黄健(2461)
外源Ca ²⁺ 对SBR启动期活性污泥胞外多聚物的动态影响	任丽飞,杨新萍,张雯雯(2470)
膨胀污泥中丝状菌的分离鉴定与特性分析	张崇森,牛全睿,徐雨梅,王陇梅,王岱,武少华(2477)
反硝化悬浮填料适用性及其微生物群落结构解析	谭阳,李激,徐巧,付磊,尤世界,王硕(2486)
硫代硫酸钠对排硫硫杆菌固碳能力的影响及其作用机制	李欢,王磊,王亚楠(2496)
关帝山森林土壤真菌群落结构与遗传多样性特征	乔沙沙,周永娜,柴宝峰,贾彤,李鑫(2502)
基于受体模型与地统计的城市居民区土壤重金属污染源解析	陈秀端,卢新卫(2513)
基于蒙特卡罗模拟的土壤环境健康风险评价:以PAHs为例	佟瑞鹏,杨校毅(2522)
Eh、pH和铁对水稻土钾释放的影响机制	钟松雄,尹光彩,陈志良,林亲铁,黄润林,刘德玲,彭焕龙,黄玲,王欣,蒋晓璐(2530)
典型土壤不同提取态Cd与水稻吸收累积的关系	陈齐,邓潇,陈珊,侯红波,彭佩钦,廖柏寒(2538)
复合改良剂对Cd污染稻田早晚稻产地修复效果	陈立伟,杨文骏,辜娇峰,周航,高子翔,廖柏寒(2546)
两种钝化剂对土壤Pb、Cd、As复合污染的菜地修复效果	田桃,雷鸣,周航,杨文骏,廖柏寒,胡立琼,曾敏(2553)
大豆和小麦根系对非的吸持作用及其生物有效性	王红菊,李倩倩,沈羽,顾若尘,盛好,占新华(2561)
源自腐殖土的溶解性有机质组分对棕壤和黑土吸附苯并三唑的影响	杨宁伟,毕二平(2568)
地形、树种和土壤属性对喀斯特山区土壤胞外酶活性的影响	罗攀,陈浩,肖孔操,杨利琼,文丽,李德军(2577)
长期定位有机物料还田对关中平原冬小麦-玉米轮作土壤N ₂ O排放的影响	郝耀旭,刘继璇,袁梦轩,周应田,杨学云,顾江新(2586)
基于大气被动式采样的人体头发中类二噁英多氯联苯暴露的途径	袁浩东,白瑶,李秋旭,王英,金军(2594)
广西刁江野生鱼类重金属积累特征及其健康风险评价	王俊能,马鹏程,张丽娟,陈棉彪,黄楚珊,柳晓琳,胡国成,许振成(2600)
活性炭在中高温条件下对玉米秸秆厌氧发酵的影响	甘荣,葛明民,刘勇迪,贾红华,闫志英,雍晓雨,吴夏荒,周俊(2607)
工艺过程源和溶剂使用源挥发性有机物排放成分谱研究进展	王红丽,杨肇勋,景盛翱(2617)
《环境科学》征稿简则(2452) 《环境科学》征订启事(2560) 信息(2201, 2230, 2384)	

基于大气被动式采样的人体头发中类二噁英多氯联苯暴露的途径

袁浩东¹, 白瑶¹, 李秋旭¹, 王英¹, 金军^{1,2*}

(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: 本研究通过分析采集自云南省开远市的13个树皮混合样品和13个相应的头发混合样品中DL-PCBs的水平、同族体分布及相关性, 研究了当地人群对DL-PCBs的主要暴露途径。结果表明, 云南开远树皮和头发样品中DL-PCBs的含量分别为 $4.0 \sim 88.9 \text{ pg} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $4.1 \sim 19.3 \text{ pg} \cdot \text{g}^{-1}$, 其在当地环境和人体中的污染程度均较轻。树皮和头发样品中主要的DL-PCB同族体均是PCB-118, 分别占总含量的48%和61%。树皮样品中DL-PCBs的各同族体具有相同的源, 其主要的来源可能是大气的长距离输移。云南开远市居民头发中的PCBs可能来源于内部暴露和外部暴露的综合作用, 其中外部暴露对低氯代PCBs的贡献要高于高氯代PCBs。

关键词: 类二噁英多氯联苯; POPs; 树皮; 头发; 暴露途径

中图分类号: X171.5 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2017)06-2594-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.201611077

Exposure Route of Dioxin-like Polychlorinated Biphenyls in Hair Based on Passive Sampling

YUAN Hao-dong¹, BAI Yao¹, LI Qiu-xu¹, WANG Ying¹, JIN Jun^{1,2*}

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

Abstract: The main exposure pathways of DL-PCBs in local population were studied by analyzing the levels, distributions and relationships of DL-PCBs in pooled tree bark samples and hair samples collected in Kaiyuan, Yunnan Province, China. The results indicated that the concentrations of DL-PCBs in bark and hair samples were $4.0 \text{ pg} \cdot \text{g}^{-1}$ to $88.9 \text{ pg} \cdot \text{g}^{-1}$ and $4.1 \text{ pg} \cdot \text{g}^{-1}$ to $19.3 \text{ pg} \cdot \text{g}^{-1}$, respectively, suggesting the pollution levels of DL-PCBs were relatively low in local environment and human body. The predominant PCB congeners in bark and hair was PCB-118, contributing 48% of the total DL-PCB concentrations in the bark samples and 61% of the total DL-PCB concentrations in the hair samples. The DL-PCB congeners in tree bark might had the same sources and these compounds might be derived from atmospheric long-range transport. External and internal exposures were responsible for the DL-PCBs concentrations in hair, and external exposure contributed more to low chlorinated PCBs than to high chlorinated PCBs.

Key words: DL-PCBs; POPs; tree bark; hair; exposure pathway

多氯联苯(polychlorinated biphenyls, PCBs)是一组由一个或多个氯原子取代联苯分子中的氢原子而形成的氯代芳烃类化合物, 其中12种邻位或无邻位取代的共平面PCB同族体的毒性最大而被称为类二噁英多氯联苯(DL-PCBs)。虽然早在20世纪80年代, 世界各国便已逐渐停止生产和使用PCBs, 但其在我国环境中仍然广泛存在^[1~4]。因此, 对大气、水和土壤等环境中PCBs的持续监测仍然是非常有必要的。其中大气环境的监测由于与人类生活密切相关而显得尤为重要。目前大气采样方式主要有主动式采样和被动式采样两种。主动式采样更加直观和易于解释, 但其存在工作量大、花费高和需要电源等问题, 特别是在偏远山区, 大气的主动式采样是非常困难的。而被动式采样器则没有这些缺点。常用的被动式采样器有树皮^[5]、树叶^[6]和PUF^[7]等不

同类型。其中树皮具有采样方便、采样成本低和广泛存在等优点, 是一种天然的被动式采样器。树皮具有较大的比表面积和较高的脂含量, 使得其可以同时累积大气颗粒相和气相中的PCBs^[8]。因此, 树皮作为一种有效的大气采样器可以用来监测大气中POPs的含量、迁移及来源^[9, 10]。PCBs进入环境后会通过食入、皮肤接触及呼吸吸入等方式进入人体, 最终对人体造成极大的危害, 可以说人体是PCBs污染的最终受体。因此, 监测人体中PCBs的暴露水平对控制PCBs的污染是十分重要的。头发

收稿日期: 2016-11-09; 修订日期: 2017-01-04

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项(0910KYQN50, 2015MDTD23C, YDZXK201620); 高等学校学科创新引智计划项目(111 Program, B08044)

作者简介: 袁浩东(1993~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为持久性有机污染物, E-mail: Haodong_Yuan1316@126.com

* 通信作者, E-mail: junjin3799@126.com

是一种常用的评价人体 POPs 暴露的介质,其含有 88% 的蛋白质和 3% ~ 4% 的脂质从而对 POPs 具有较好的累积性,同时其作为非侵入式采样对人体是完全无害的^[11]。头发的毛干位于体表而毛根植于体内,所以其具有外部暴露(空气及灰尘的吸附)和内部暴露(毛囊根部血液的交换)两种不同的暴露途径。区分这两种暴露途径对使用头发来评估人体 POPs 的暴露是非常重要的。头发和大气中 POPs 含量的相关性可以用来评价头发中 POPs 暴露的主要途径。然而在很多地区,特别是偏远山区,大气的主动式采样是非常困难的,因此通过分析 POPs 在树皮和头发中分布的异同,从而对其在头发中的主要暴露途径进行评估可能是一种更好的选择,而目前关于 PCBs 在树皮和头发中的关联性的评价是缺失的。

云南省开远市隶属红河哈尼族彝族自治州,当地海拔较高、地形以高山为主。其所在的红河州是云南省近代工业的发祥地。但关于当地环境中 DL-PCBs 的污染水平的研究是缺失的,同时关于 DL-PCBs 在当地居民人体中的暴露程度同样是不清楚的。

因此,本研究的目的有:①检测云南省开远市树皮和头发中 PCBs 的含量;②分析评价当地 PCB 的潜在来源;③研究树皮和头发中 PCBs 的相关性,并尝试区分头发中 PCBs 的内部暴露和外部暴露。

1 材料与方法

1.1 样品的采集

本研究在开远市内从海拔 1 012 m 到海拔 2 142 m 共设置 13 个采样点,分别是腻落江(NLJ)、通灵村(TLC)、石岩村(SYC)、路脚(LJ)、勒白冲(LBC)、中和营(ZHY)、八家寨(BJZ)、三台铺(STP)、城干(CG)、葫芦塘(HLT)、德果(DG)、大马者(DMZ)、碑格(BG),采样点分布如图 1 所示。于 2014 年 1 月~2 月在 13 个彝族村寨附近分别采集了 13 份树皮混合样品及 13 份头发混合样品。

1.1.1 树皮样品的采集

用不锈钢小刀割取半径 50 m 范围内 3 棵松树树皮样品,树皮采集位置离地 1.5 m 高,所有松树直径约为 35 cm。将从 3 棵不同松树上采集到的样品混合,用锡纸包裹并密封于干净的密实袋中,放置于便携式冰箱中带回实验室置于 -20℃ 冰箱中保存至分析。

1.1.2 头发样品的采集

在树皮采集的同一时间内采集相应的 13 个村

寨村民的头发,每个村寨随机选取 10 人(年龄 20 ~ 40 岁),每份样品约 5 g,共采集 130 份头发,分别用锡箔纸包装并密封于干净的密实袋,放置于便携式冰箱中带回实验室置于 -20℃ 冰箱中保存至分析。

1.2 实验试剂及仪器

Agilent 6890-5975N 气质联用仪(Agilent, USA);BF2000 氮气吹干仪(北京八方世纪科技有限公司);精密电子天平(日本岛津公司);旋转蒸发器(上海亚荣生化仪器厂)

硅胶(德国 MERCK 公司);无水硫酸钠(分析纯,使用前于 450℃ 下烧 5 h);正己烷、丙酮、二氯甲烷(农残级,美国 J. T. Baker 公司);标准物质:PCBs 标准样品(PCB-77、-123、-118、-114、-105、-126、-167、-156、-169、-180、-189)购自 Labor Dr. Ehrenstorfer;内标混合液¹³C₁₂-PCBs(PCB-81、-77、-123、-118、-114、-105、-126、-167、-156、-157、-169、-189)购自 Cambridge Isotope Laboratories。

1.3 样品前处理

1.3.1 树皮样品前处理

每个树皮样品取 10.0 g,加入 0.64 ng ¹³C₁₂-PCBs 内标混合液后在索氏提取器中用 200 mL 正己烷/丙酮(1:1,体积比)混合溶液连续提取 24 h。提取液旋转蒸发至 4 mL,然后用复合硅胶柱(由下到上依次填充:玻璃棉、1.0 g 中性硅胶、4.0 g 含有 30% 质量分数 NaOH_(aq) 的碱性硅胶、1.0 g 中性硅胶、8.0 g 含有 44% 质量分数 H₂SO₄ 酸性硅胶、2.0 g 中性硅胶、4.0 g 无水 Na₂SO₄)净化,净化过程中采用 50.0 mL 正己烷活化上样,18.0 mL 正己烷预淋洗及 100.0 mL 正己烷/二氯甲烷(97:3,体积比)洗脱。收集洗脱液,氮吹定容至 100 μL,待分析测定。

1.3.2 头发样品前处理

将采集的头发样品分别用超纯水超声清洗 3 次,每次 10 min。样品在 25℃ 的温度下自然风干。然后以每个村寨为单位,将所采集的头发样品剪碎后均匀混合为 13 个混合样品。每个混合样品称取 3.0 g,分别加入 0.64 ng ¹³C₁₂-PCBs 内标混合液,在索氏提取器中用 80 mL 正己烷/丙酮(1:1,体积比)混合液连续提取 48 h。提取液旋转蒸发至 2 mL,然后分别用复合硅胶柱(配比同树皮)净化,上样洗脱(同树皮)。收集洗脱液,氮吹定容至 80 μL,待分析测定。

1.4 仪器条件

样品采用 Agilent 6890N-5975 气相色谱-质谱联

用仪测定. 色谱柱采用 DB-5MS 柱 (30 m × 0.25 mm i. d, 膜厚 0.10 μm; J&W Scientific). 初始温度为 100℃, 保持 3 min, 之后以 5℃·min⁻¹ 的速度升至 250℃, 保持 3 min. 载气为氦气, 流速为 1.0 mL·min⁻¹. 采用不分流模式进样, 进样量为 1 μL, 进样口温度为 300℃. 使用负化学电离源 (NCI) 为离子源, 反应气为甲烷, 流速为 1.0 mL·min⁻¹. 四级杆及离子源温度均为 150℃. 采用选择离子模式 (SIM) 进行定量分析. PCB-81、-77 监测离子选择 (m/z) 290、292; PCB-123、-118、-114、-105、-126 监测离子选择 (m/z) 326、328; PCB-167、-156、-157、-169 监测离子选择 (m/z) 360、362; PCB-180、-189 监测离子选择 (m/z) 394、396; ¹³C₁₂-PCBs 内标选择扫描监测离子 (m/z) 与 ¹²C₁₂-PCBs 相对应依次增加 12.

1.5 质量控制

各目标化合物均采用同位素内标定量法及五点稀释法定量, 各物质标准曲线相关系数均大于 0.9995. 每次实验均设置实验空白, 在空白组均未发现目标化合物. 各内标物回收率为 73% ± 8%. 树皮和头发中 DL-PCBs 的定量限 (LOQ) 分别为 0.3 ~ 6.6 pg·g⁻¹ 和 0.9 ~ 17.8 pg·g⁻¹.

2 结果与讨论

2.1 云南省开远市树皮及头发中 PCBs 的含量

2.1.1 树皮中 PCBs 的含量

如图 1, 云南开远市树皮中 DL-PCBs 的含量 (以干重计, 下同) 为 4.0 ~ 88.9 pg·g⁻¹. 云南开远树皮中 DL-PCBs 的中值含量为 19.3 pg·g⁻¹, 其与我国西部地区 (39.7 pg·g⁻¹) 及黄河上游地区 (26.6 pg·g⁻¹) 树皮中 DL-PCBs 的中值含量相近^[12, 13], 而

较 Zhao 等^[9]所测得的 2007 年云南香格里拉 (6.84 pg·g⁻¹) 和怒江 (9.67 pg·g⁻¹) 树皮中的 PCBs 的含量略高. 与国外研究相比, 本研究树皮中 PCBs 的含量低于土耳其阿利亚加工业园区及法国和德国树皮中 PCBs 的含量^[14, 15]. 总体而言, 本研究区域 DL-PCBs 处于相对较低的水平.

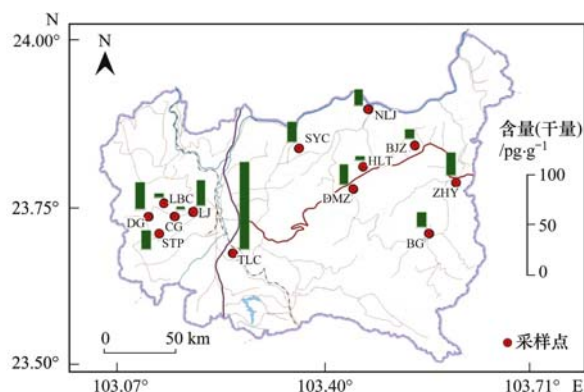


图 1 云南开远树皮中 PCBs 的含量及分布

Fig. 1 Concentrations and distributions of the polychlorinated biphenyls found in the tree bark samples from Kaiyuan city (Yunnan Province, China)

2.1.2 头发中 PCBs 的含量

云南开远居民头发中的 DL-PCBs 的含量 (以干重计, 下同) 为 4.1 ~ 19.3 pg·g⁻¹, 中值含量为 13.5 pg·g⁻¹. 与国内外其它地区相比 (见表 1), 本研究区域居民头发中 PCBs 的含量略低于同为偏远山区的中国四川凉山青少年头发中 PCBs 的含量 (但处于同一数量级)^[16], 远低于中国浙江通山电子垃圾拆解地居民和北京市市民头发中 PCBs 的水平^[17, 18], 同时较波兰、希腊和菲律宾等国家居民头发中 PCBs 的含量低^[19~21]. 可见, 本研究区域居民头发中 PCBs 的含量相对较低, 该地区人群对 PCBs 的暴露量相对较小.

表 1 不同地区人群头发中 PCBs 的水平¹⁾

Table 1 Concentrations of PCBs in human hair from different areas

采样点	采样年份	样本量	单体数目	PCBs 中值 (范围)/ng·g ⁻¹	文献
公主岭 (中国)	2009	23	30	68.9 (32.1 ~ 105.6)	[22]
四川凉山 (中国)	2013	39	12	66.3 × 10 ⁻³ (9.3 × 10 ⁻³ ~ 991.6 × 10 ⁻³)	[16]
浙江通山 (中国)	2007	8	27	32.8 (16.1 ~ 57.1)	[17]
雁荡山 (中国)	2007	4	27	13.3 (10.6 ~ 17.8)	[17]
北京 (中国)	2004	52	14	91.0 (29.0 ~ 220.0)	[18]
波兰	2009	15	6	14.9 平均值 (/)	[19]
希腊	/	8	7	7.4 (1.0 ~ 17.6)	[20]
比利时	/	4	7	25.5 (5.1 ~ 44.7)	[20]
马拉特 (菲律宾)	2008	10	17	29 (11 ~ 72)	[21]
柏雅塔斯 (菲律宾)	2008	20	17	27 (12 ~ 72)	[21]
云南开远 (中国)	2014	13	3	13.5 × 10 ⁻³ (4.1 × 10 ⁻³ ~ 19.3 × 10 ⁻³)	本研究

1) “/”表示无详细信息

2.2 树皮和头发中 PCBs 的分布特征及暴露途径的评估

本研究树皮和头发样品一共检测出了 PCB-77、105、118、156、167、180 这 6 种 PCB 同族体(见图 2)。其中树皮中 DL-PCBs 的主要同族体为 PCB-118 (48%) 和 PCB-105(27%),其次为 PCB-77(12%)、PCB-156(7%)及 PCB-189(3%),这与黄河地区及我国西部地区 PCB 同族体的构成一致^[13, 23]。可见,云南开远树皮中 PCBs 同族体以低氯代的五氯联苯为主,这与我国主要生产和使用低氯代的三氯联苯和五氯联苯有关^[24]。同样地,本研究头发中主要的 PCB 同族体为 PCB-118 (61%),其次是 PCB-156 (21%)和 PCB-105(18%)。而与树皮不同的是,云南开远居民头发中并未检测出 PCB-77 和 PCB-180。这可能是与树皮和头发中 PCBs 不同的代谢过程有关。有学者认为有机或无机污染物在树皮中是惰性的,几乎不存在代谢过程^[25]。而其在头发中可能存在一定程度的代谢。同时,与高氯代的 PCB 相比,低氯代的 PCB-77 具有更快的代谢速率^[26]。这可能是头发样品中 PCB-77 未检出的原因。对于 PCB-189,其在树皮样品中含量和检出率都较低,表明 PCB-189 在环境中的水平较低,因此其进入头发中的量可能是较低的,从而导致其在头发中未检出。结构相似的化合物之间的相关性可以有效的说明其环境行为^[27]。因此,在排除检出率较低的 PCB-189 后,本研究使用 SPSS 20.0 软件对各采样点树皮中 PCB 同族体进行 Pearson 相关性分析,结果显示 PCB 各同族体(PCB-77、105、118、156、167)彼此之间具有明显的相关性(见表 2),这表明本研究树皮中各 PCB 同族体(除 PCB-189)具有相同的源。同样地,

头发中各 PCB 同族体之间也具有明显的相关性 (PCB-118 和 PCB-105; $r=0.912, P<0.001$;PCB-118 和 PCB-156; $r=0.695, P=0.008$;PCB-105 和 PCB-156; $r=0.708, P=0.007$),表明头发中 PCB-105、118 和 PCB-156 具有相同的源。

如前所述,头发的暴露途径有外部暴露和内部暴露两种暴露途径,其反映了人体的综合暴露情况。其中外部暴露主要来自大气污染物的吸附和渗入。而树皮中 POPs 的水平可以很好地反映大气中 POPs 的污染程度。诸多研究也表明树皮中 POPs 的含量与大气中的含量有着明显的相关性^[12, 28]。所以在理论上,树皮中 PCBs 的含量和头发中来自外部暴露的 PCBs 的含量之间的相关性是显著的。然而在实际样品中,头发中的 PCBs 的含量不仅来自外部暴露还来自内部暴露,因此这种相关性的强弱会随着头发中 PCBs 内部暴露量的大小而变化。因此,头发和树皮中 PCBs 的相关性可以用来评价头发中 PCBs 的主要暴露途径。对头发和树皮中各同族体间做相关性分析,结果发现 PCB-105、118、156 在头发和树皮之间的含量不具有明显的相关性(PCB-105; $r=0.422, P=0.151$;PCB-118; $r=0.336, P=0.225$;PCB-156; $r=0.008, P=0.978$),说明外部暴露不是本研究地区居民头发中 PCBs 的主要的源。从相关性系数的大小可以看出头发和树皮之间低氯代的 PCB 比高氯代的具有更强的相关性。这可能是由于低氯代的 PCB 具有更高的蒸气压,从而比高氯代 PCB 更容易挥发到空气中而被头发所吸附。因此,大气中低氯代的 PCB 对头发中相应 PCB 的贡献较高氯代大,使得其在头发和树皮之间具有更强的相关性。

表 2 云南开远树皮中 PCB 同族体之间的相关性¹⁾

Table 2 Correlation among PCB congeners in tree bark from Kaiyuan City, Yunnan Province					
	PCB-77	PCB-118	PCB-105	PCB-167	PCB-156
PCB-77	1	0.911 **	0.955 **	0.570 *	0.761 **
PCB-118		1	0.962 **	0.729 **	0.876 **
PCB-105			1	0.610 *	0.750 **
PCB-167				1	0.687 **
PCB-156					1

1) ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关; * 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关

2.3 云南开远市环境中 DL-PCBs 来源的初步解析

我国 PCBs 的生产始于 1965 年,1974 年至 20 世纪 80 年代初逐渐停止使用,期间我国累积生产了 7 000 ~ 10 000 t 的 PCBs^[29]。PCBs 在我国主要被用于电容器、液压油、油墨和涂料等商品的生产。这

些产品在使用和废弃的过程中会逐渐向环境中释放 PCBs,从而对环境造成污染。因此,环境中的 PCBs 的水平和人类活动息息相关。而人口数是制约人类活动的因素之一。He 等^[30]分析了黄河上游地区树皮中 PCBs 含量与当地人口密度的相关性,结果表

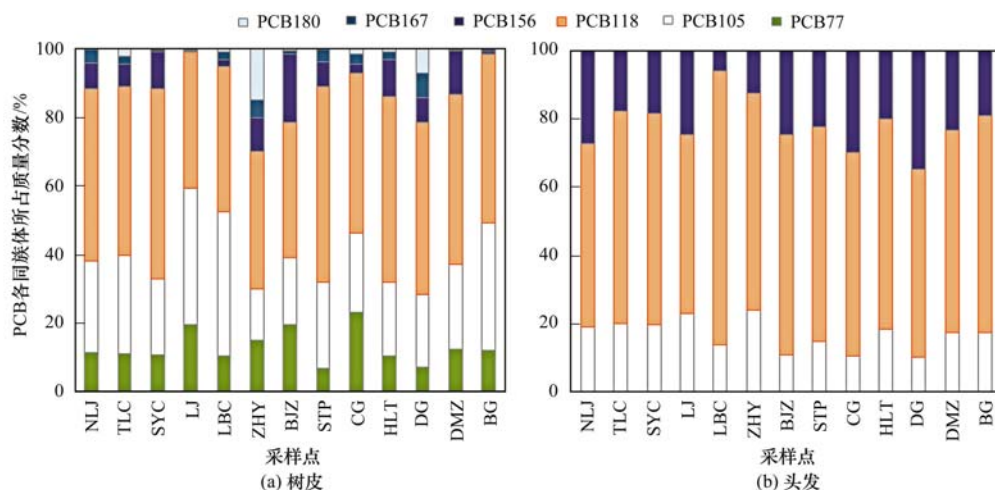


图 2 各采样点树皮和头发中 PCBs 的同族体构成

Fig. 2 PCBs composition profiles in tree bark and hair samples from each sampling site

明两者之间有明显的相关性,其认为当地的工业生产和人类生活影响着环境中 PCBs 的含量. 在本研究中分析了云南开远市各采样点树皮中 PCBs 的含量和当地人口数的相关性,结果发现两者之间不存在显著的相关性($r = 0.332$, $P = 0.284$),表明本研究区域环境中的 PCBs 含量受当地生产生活的影响较小. 同时考虑到本研究地区为高海拔偏远山区,当地几乎没有工业,所以大气长距离传输可能是该地区环境中 PCBs 的主要来源. 此外,本研究对云南树皮中 PCBs 的含量和海拔做相关性分析,结果发现两者没有明显的相关性($r = -0.406$, $P = 0.169$),这与 Grimalt 等^[31]对西班牙比利牛斯山松枝中 PCBs 的研究结果一致,表明海拔不是影响该地区环境中 PCBs 分布的主要因素.

3 结论

(1) 云南开远市树皮和头发中 DL-PCBs 的含量低于国内外平均水平. 树皮和头发中 DL-PCBs 同族体组成均以五氯代 PCB 为主,这可能与我国过去主要使用低氯代 PCB 产品有关.

(2) 通过分析同一区域中树皮和头发中 PCBs 的含量及分布可以分辨头发中 PCBs 的主要暴露途径. 云南开远市居民头发中的 PCBs 可能来源于内部暴露和外部暴露的综合作用,其中外部暴露对低氯代 PCB 的贡献要高于高氯代 PCB.

(3) 云南省开远市环境中 DL-PCBs 的污染可能主要来源于大气的远距离迁移.

参考文献:

[1] 李光耀, 金军, 何畅, 等. 黄河表层沉积物中类二噁英多氯联苯水平分布[J]. 环境科学, 2014, **35**(9): 3358-3364.

Li G Y, Jin J, He C, *et al.* Levels and distribution of the dioxin-like polychlorinated biphenyls (PCBs) in the surface sediment of the Yellow River[J]. Environmental Science, 2014, **35**(9): 3358-3364.

[2] 马召辉, 金军, 元学奎, 等. 太湖沉积物中多溴联苯醚和类二噁英多氯联苯的水平垂直分布[J]. 环境科学, 2013, **34**(3): 1136-1141.

Ma Z H, Jin J, Qi X K, *et al.* Vertical distribution of PBDEs and DL-PCBs in sediments of Taihu Lake[J]. Environmental Science, 2013, **34**(3): 1136-1141.

[3] Wang P, Shang H T, Li H H, *et al.* PBDEs, PCBs and PCDD/Fs in the sediments from seven major river basins in China: occurrence, congener profile and spatial tendency[J]. Chemosphere, 2016, **144**: 13-20.

[4] Die Q Q, Nie Z Q, Liu F, *et al.* Seasonal variations in atmospheric concentrations and gas-particle partitioning of PCDD/Fs and dioxin-like PCBs around industrial sites in Shanghai, China[J]. Atmospheric Environment, 2015, **119**: 220-227.

[5] Yuan H D, Jin J, Bai Y, *et al.* Concentrations and distributions of polybrominated diphenyl ethers and novel brominated flame retardants in tree bark and human hair from Yunnan Province, China[J]. Chemosphere, 2016, **154**: 319-325.

[6] Yang R Q, Zhang S J, Li A, *et al.* Altitudinal and spatial signature of persistent organic pollutants in soil, lichen, conifer needles, and bark of the southeast Tibetan Plateau: implications for sources and environmental cycling[J]. Environmental Science & Technology, 2013, **47**(22): 12736-12743.

[7] Li Q X, Lu Y, Jin J, *et al.* Comparison of using polyurethane foam passive samplers and tree bark samples from Western China to determine atmospheric organochlorine pesticide[J]. Journal of Environmental Sciences, 2016, **41**: 90-98.

[8] Wang Q Q, Zhao Y L, Yan D, *et al.* Historical records of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons by analyzing dated corks of the bark pocket in a Longpetiole Beech tree[J]. Environmental Science & Technology, 2004, **38**(18): 4739-4744.

[9] Zhao Y L, Yang L M, Wang Q Q. Modeling persistent organic pollutant (POP) partitioning between tree bark and air and its application to spatial monitoring of atmospheric POPs in mainland

- China[J]. Environmental Science & Technology, 2008, **42** (16): 6046-6051.
- [10] Wang X P, Gong P, Yao T D, *et al.* Passive air sampling of organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls, and polybrominated diphenyl ethers across the Tibetan Plateau[J]. Environmental Science & Technology, 2010, **44** (8): 2988-2993.
- [11] Poon S, Wade M G, Aleksa K, *et al.* Hair as a biomarker of systemic exposure to polybrominated diphenyl ethers [J]. Environmental Science & Technology, 2014, **48** (24): 14650-14658.
- [12] He C, Jin J, Li G Y, *et al.* Exchange of organohalogen compounds between air and tree bark in the Yellow River region [J]. Chemosphere, 2016, **153**: 478-484.
- [13] 李秋旭. 我国西部民族地区树皮中持久性有机卤素化合物水平及分布的研究[D]. 北京: 中央民族大学, 2016.
- Li Q X. The levels and distributions of persistent organic halogen compounds in tree bark from west areas of China[D]. Beijing: Minzu University of China, 2016.
- [14] Odabasi M, Falay E O, Tuna G, *et al.* Biomonitoring the spatial and historical variations of persistent organic pollutants (POPs) in an industrial region [J]. Environmental Science & Technology, 2015, **49**(4): 2105-2114.
- [15] Guéguen F, Stille P, Millet M. Air quality assessment by tree bark biomonitoring in urban, industrial and rural environments of the Rhine Valley: PCDD/Fs, PCBs and trace metal evidence [J]. Chemosphere, 2011, **85**(2): 195-202.
- [16] 周莹, 孙一鸣, 金军, 等. 四川凉山藏彝青少年头发中多氯联苯污染水平的研究[J]. 环境科学, 2015, **36**(1): 274-279.
- Zhou Y, Sun Y M, Jin J, *et al.* Levels of polychlorinated biphenyls in Tibetan and Yi Adolescents' hair from Liangshan Prefecture, Sichuan Province [J]. Environmental Science, 2015, **36**(1): 274-279.
- [17] Zhao G F, Wang Z J, Dong M H, *et al.* PBBs, PBDEs, and PCBs levels in hair of residents around e-waste disassembly sites in Zhejiang Province, China, and their potential sources [J]. Science of the Total Environment, 2008, **397** (1-3): 46-57.
- [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] 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.
- [20] Covaci A, Schepens P. Chromatographic aspects of the analysis of selected persistent organochlorine pollutants in human hair [J]. Chromatographia, 2000, **53**(S1): S366-S371.
- [21] 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.
- [22] 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.
- Zhang L, Chen Y, Liu X H, *et al.* Levels of polychlorinated biphenyls in Adolescents' hair from Gongzhuling, Jilin [J]. Environmental Science, 2011, **32**(10): 3082-3087.
- [23] He C, Jin J, Wang Y, *et al.* Polybrominated diphenyl ethers, dechlorane plus, and polychlorinated biphenyls in tree bark near the upper Yellow River, China [J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 2014, **33**(8): 1732-1738.
- [24] 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.
- Xiang Q L, Zhou H Y, Xu D D, *et al.* Characteristics of PCB congeners and homologues in chinese transformer oil[J]. China Environmental Science, 2007, **27**(5): 608-612.
- [25] Samecka-Cymerman A, Kosior G, Kempers A J. Comparison of the moss *Pleurozium schreberi* with needles and bark of *Pinus sylvestris* as biomonitors of pollution by industry in Stalowa Wola (southeast Poland) [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2006, **65**(1): 108-117.
- [26] 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.
- Bi X H, Xu X B. Behaviors of PCBs in environment [J]. Progress in Chemistry, 2000, **12**(2): 152-160.
- [27] Venier M, Ma Y N, Hites R. A. Bromobenzene flame retardants in the Great Lakes atmosphere [J]. Environmental Science & Technology, 2012, **46**(16): 8653-8660.
- [28] Fu X X, Wang J X, Zhou X Y, *et al.* Tree bark as a passive air sampler to indicate atmospheric polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in southeastern China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2014, **21**(12): 7668-7677.
- [29] 国家履行斯德哥尔摩公约工作协调组办公室. 中华人民共和国履行《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》国家实施计划[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008.
- Office of the national coordination group for Stockholm convention implementation. National implementation plan for the Stockholm convention on persistent organic pollutants implemented by the People's Republic of China[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2008.
- [30] He C, Jin J, Xiang B L, *et al.* Upper Yellow River air concentrations of organochlorine pesticides estimated from tree bark, and their relationship with socioeconomic indices [J]. Journal of Environmental Sciences, 2014, **26**(3): 593-600.
- [31] Grimalt J O, van Drooge B L. Polychlorinated biphenyls in mountain pine (*Pinus uncinata*) needles from Central Pyrenean high mountains (Catalonia, Spain) [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2006, **63**(1): 61-67.

CONTENTS

Comparison of Models on Spatial Variation of PM _{2.5} Concentration; A Case of Beijing-Tianjin-Hebei Region	WU Jian-sheng, WANG Xi, LI Jia-cheng, <i>et al.</i> (2191)
Change of Atmospheric Pollution Diffusion Conditions in Beijing in Recent 35 Years	GUO Chun-wei, SUN Zhao-bin, LI Zi-ming, <i>et al.</i> (2202)
Precipitation and Its Effects on Atmospheric Pollutants in a Representative Region of Beijing in Summer	HAN Li-hui, ZHANG Hai-liang, XIANG Xin, <i>et al.</i> (2211)
Impact of Mountain-Valley Wind Circulation on Typical Cases of Air Pollution in Beijing	DONG Qun, ZHAO Pu-sheng, WANG Ying-chun, <i>et al.</i> (2218)
Fugitive Dust Emission Characteristics from Building Construction Sites of Beijing	XUE Yi-feng, ZHOU Zhen, HUANG Yu-hu, <i>et al.</i> (2231)
Characteristics of Volatile Organic Compounds Emitted from Biomass-pellets-fired Boilers	WU Chang-da, ZHANG Chun-lin, BAI Li, <i>et al.</i> (2238)
Effect of VOCs on O ₃ and SOA Formation Potential During the Combined Pollution Process in Guangzhou Panyu Atmospheric Composition Station	ZOU Yu, DENG Xue-jiao, LI Fei, <i>et al.</i> (2246)
Characteristic Study on the "Weekend Effect" of Atmospheric O ₃ in Northern Suburb of Nanjing	WANG Jun-xiu, AN Jun-lin, SHAO Ping, <i>et al.</i> (2256)
Atmospheric Ammonia/Ammonium-nitrogen Concentrations and Wet and Dry Deposition Rates in a Double Rice Region in Subtropical China	WANG Jie-fei, ZHU Xiao, SHEN Jian-lin, <i>et al.</i> (2264)
Species of Iron in Size-resolved Particle Emitted from Xuanwei Coal Combustion and Their Oxidative Potential	WANG Qiang-xiang, TAN Zheng-ying, ZHAO Hui, <i>et al.</i> (2273)
Dioxin Pollution and Occupational Inhalation Exposure of PCDD/Fs in Municipal Solid Waste Incinerator	DU Guo-yong, WANG Qian, ZHANG Shu-lin, <i>et al.</i> (2280)
Characteristics of Mercury Emissions from Modern Dry Processing Cement Plants in Chongqing	ZHANG Cheng, ZHANG Ya-hui, WANG Yong-min, <i>et al.</i> (2287)
Correlations of Light-duty Gasoline Vehicle Emissions Based on VMAS and CVS Measurement Systems	WANG Hong-yu, HUANG Cheng, HU Qing-yao, <i>et al.</i> (2294)
Emission Characteristics of Particulate Matter from Diesel Buses Meeting Different China Emission Standards Fueled with Biodiesel	LOU Di-ming, ZHAO Cheng-zhi, XU Ning, <i>et al.</i> (2301)
Spatial Variation and Environmental Significance of δ ¹⁸ O and δD Isotope Composition in Xijiang River	XU Qi, LI Jian-hong, SUN Ping-an, <i>et al.</i> (2308)
Comparative Study of SWAT and DNDC Applied to N Leach and Export from Subtropical Watershed	HAN Ning, CHEN Wei-liang, GAO Yang, <i>et al.</i> (2317)
Comparison of Relationship Between Conduction and Algal Bloom in Pengxi River and Modao River in Three Gorges Reservoir	JIANG Wei, ZHOU Chuan, JI Dao-bin, <i>et al.</i> (2326)
Temporal and Spatial Variation Characteristics of Nitrogen and Phosphorus in Sediment Pore Water and Overlying Water of Dianchi Caohai Lake	WANG Yi-ru, WANG Sheng-ru, JIAO Li-xin, <i>et al.</i> (2336)
Distribution and Emission Flux Estimation of Phosphorus in the Sediment and Interstitial Water of Xiangxi River	LUO Yu-hong, NIE Xiao-qian, LI Xiao-ling, <i>et al.</i> (2345)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Water and Sediment from Daye Lake	ZHANG Jia-quan, TIAN Qian, XU Da-mao, <i>et al.</i> (2355)
Formation of Brominated Disinfection By-products in Low Temperature Multi-effect Distillation (LT-MED) Process for Seawater Desalination	QI Fei, SUN Ying-xue, YANG Zhe, <i>et al.</i> (2364)
Applicability Comparison and Application Study of Two Methods for Determination of the Copper Complexing Capacity of Waters	WANG Chen-ye, JIANG Kuo, XIE Wen-long, <i>et al.</i> (2373)
Performance of Applying Scale Permeable Pavements for Control of Runoff Pollution in an Area with High Groundwater Level	JIN Jian-rong, LI Tian, SHI Zhen-bao, <i>et al.</i> (2379)
Removal of 2,4-dichlorophenol in Underground Water by Stabilized Nano Zero-valent Iron	ZHANG Yong-xiang, CHANG Shan, LI Fei, <i>et al.</i> (2385)
Enhancement of Sulfamerazine Degradation Under H ₂ O ₂ /KI System by Ultrasound and UVA Irradiation	WEI Hong, SUN Bo-cheng, YANG Xiao-yu, <i>et al.</i> (2393)
Comparison of Phosphate Adsorption onto Zirconium-Modified Bentonites with Different Zirconium Loading Levels	JINAG Bo-hui, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (2400)
Removal of Nitrogen in Municipal Secondary Effluent by a Vertical Flow Constructed Wetland Associated with Iron-carbon Internal Electrolysis	ZHENG Xiao-ying, ZHU Xing, ZHOU Xiang, <i>et al.</i> (2412)
Purification Efficiency and Influencing Factors of Combined Bio-filters for Aquaculture Wastewater	ZHANG Shi-yang, ZHANG Sheng-hua, ZHANG Xiang-ling, <i>et al.</i> (2419)
Effect of Temperature on PAO Activity and Substrate Competition	ZHANG Ling, PENG Dang-cong, CHANG Die, <i>et al.</i> (2429)
Enrichment and Nitrogen Removal Characteristics of Marine Anaerobic Ammonium Oxidizing Bacteria	FENG Li, YU De-shuang, LI Jin, <i>et al.</i> (2435)
Ammonia Removal Rate and Microbial Community Structures in Different Biofilters for Treating Aquaculture Wastewater	ZHOU Hong-yu, HAN Mei-lin, QIU Tian-lei, <i>et al.</i> (2444)
Influence of Phosphate on Nitrogen Removal Efficiency of ANAMMOX Sludge	ZHOU Zheng, LIU Kai, WANG Fan, <i>et al.</i> (2453)
Characteristics and Mechanism of Biological Nitrogen and Phosphorus Removal Granular Sludge Under Carbon Source Stress	QIN Shi-you, CHEN Wei, MA Zhao-nui, <i>et al.</i> (2461)
Evolution of Extracellular Polymeric Substances of the Activated Sludge with Calcium Ion Addition During Set-up Period of Sequencing Batch Reactors	REN Li-fei, YANG Xin-ping, ZHANG Wen-wen, <i>et al.</i> (2470)
Isolation, Identification and Characterization of the Filamentous Microorganisms from Bulking Sludge	ZHANG Chong-miao, NIU Quan-rui, XU Li-mei, <i>et al.</i> (2477)
Applicability and Microbial Community Structure of Denitrification Suspended Carriers	TAN Yang, LI Ji, XU Qiao, <i>et al.</i> (2486)
Effect of Thiosulfate on the Carbon Fixation Capability of <i>Thiobacillus thioparus</i> and Its Mechanism	LI Huan, WANG Lei, WANG Ya-nan, <i>et al.</i> (2496)
Characteristics of Fungi Community Structure and Genetic Diversity of Forests in Guandi Mountains	QIAO Sha-sha, ZHOU Yong-na, CHAI Bao-feng, <i>et al.</i> (2502)
Source Apportionment of Soil Heavy Metals in City Residential Areas Based on the Receptor Model and Geostatistics	CHEN Xiu-duan, LU Xin-wei, <i>et al.</i> (2513)
Environmental Health Risk Assessment of Contaminated Soil Based on Monte Carlo Method; A Case of PAHs	TONG Rui-peng, YANG Xiao-yi, <i>et al.</i> (2522)
Influencing Mechanism of Eh, pH and Iron on the Release of Arsenic in Paddy Soil	ZHONG Song-xiong, YIN Guang-cai, CHEN Zhi-liang, <i>et al.</i> (2530)
Correlations Between Different Extractable Cadmium Levels in Typical Soils and Cadmium Accumulation in Rice	CHEN Qi, DENG Xiao, CHEN Shan, <i>et al.</i> (2538)
Remedying Effects of a Combined Amendment for Paddy Soil Polluted with Cd for Spring and Autumn Rice	CHEN Li-wei, YANG Wen-tao, GU Jiao-feng, <i>et al.</i> (2546)
Effects of Two Amendments on Remedying Garden Soil Complexly Contaminated with Pb, Cd and As	TIAN Tao, LEI Ming, ZHOU Hang, <i>et al.</i> (2553)
Sorption of Phenanthrene to Soybean and Wheat Roots and the Bioavailability of Sorbed Phenanthrene	WANG Hong-ju, LI Qian-qian, SHEN Yu, <i>et al.</i> (2561)
Effects of Dissolved Organic Matter Fractions Extracted from Humus Soil on Sorption of Benzotriazole in Brown Soil and Black Soil	YANG Ning-wei, BI Er-ping, <i>et al.</i> (2568)
Effects of Topography, Tree Species and Soil Properties on Soil Enzyme Activity in Karst Regions	LUO Pan, CHEN Hao, XIAO Kong-caio, <i>et al.</i> (2577)
Effects of Long-term Organic Amendments on Soil N ₂ O Emissions from Winter Wheat-maize Cropping Systems in the Guanzhong Plain	HAO Yao-xu, LIU Ji-xuan, YUAN Meng-xuan, <i>et al.</i> (2586)
Exposure Route of Dioxin-like Polychlorinated Biphenyls in Hair Based on Passive Sampling	YUAN Hao-dong, BAI Yao, LI Qiu-xu, <i>et al.</i> (2594)
Accumulation Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Wild Fish Species from Diaojiang River, Guangxi	WANG Jun-neng, MA Peng-cheng, ZHANG Li-juan, <i>et al.</i> (2600)
Effect of Activated Carbon Addition on the Anaerobic Fermentation of Corn Straw in Mesophilic and Thermophilic Conditions	GAN Rong, GE Ming-min, LIU Yong-di, <i>et al.</i> (2607)
Volatile Organic Compounds (VOCs) Source Profiles of Industrial Processing and Solvent Use Emissions; A Review	WANG Hong-li, YANG Zhao-xun, JING Sheng-ao, <i>et al.</i> (2617)