ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

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

中国期刊方阵 双奖期刊 中华人民共和国新闻出版总署

环境科学
(HUANJING KEXUE)
ENVIRONMENTAL SCIENCE
第36卷 第1期
2015年1月15日

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,周凌晞,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 …… 于奭,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)
三峡库区农林畜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 …… 周萤,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 …… 赵晓娴,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)

三峡库区典型农田小流域土壤汞的空间分布特征

王娅[1],赵铮[1],木志坚[1,2,3],王定勇[1,2,3*],余亚伟[1]

(1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400715; 2. 重庆市三峡库区农业面源污染控制工程技术研究中心,重庆 400716; 3. 重庆市农业资源与环境研究重点实验室,重庆 400716)

摘要: 为了解三峡库区农田流域汞污染现状及其生态风险,以三峡库区腹心地带的涪陵王家沟典型农田小流域为调查对象,基于 ArcGIS 地统计模块研究流域内不同土地利用类型(旱地、田地、林地和居民点)土壤汞(Hg)含量及其分布特征,并对其汞污染程度和生态风险进行评价. 结果表明,流域内土壤 Hg 含量范围为 9.47 ~ 94.57 μg·kg^{-1},均值为(34.23 ± 16.23) μg·kg^{-1},不同土地类型表层土壤 Hg 含量高低顺序为林地、田地、居民点、旱地; 表层土壤出现明显汞累积现象,土壤 Hg 含量变化与土壤深度呈极显著负相关关系. 地统计分析结果表明,流域土壤中的汞呈现出较弱的空间相关性,说明流域内土壤汞的空间分布主要受大气干湿沉降、植被覆盖和地形等自然因素影响,人为等外源干扰影响弱. 流域土壤总体上虽未表现出明显的汞污染现象(污染指数为 -0.08),但具有中度的汞潜在生态风险(生态风险指数为 57),其中以林地较为严重. 流域土壤汞承载量约为 25.39 kg,旱地约占 69%.

关键词:汞; 土壤; 三峡库区; 农田流域; 污染评价

中图分类号: X131.2; X52 **文献标识码**: A **文章编号**: 0250-3301(2015)01-0130-06 **DOI**: 10.13227/j.hjkx.2015.01.017

Spatial Distribution of Mercury in Soils of a Typical Small Agricultural Watershed in the Three Gorges Reservoir Region

WANG Ya[1], ZHAO Zheng[1], MU Zhi-jian[1,2,3], WANG Ding-yong[1,2,3*], YU Ya-wei[1]

(1. College of Resource and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Chongqing Engineering Research Center for Agricultural Non-point Source Pollution Control in the Three Gorges Reservoir Area, Chongqing 400716, China; 3. Chongqing Key Laboratory of Agricultural Resources and Environment, Chongqing 400716, China)

Abstract: To understand the mercury(Hg) pollution level and the corresponding ecological risk in agricultural watershed of the Three Gorges Reservoir region, a typical watershed, Wangjiagou, located in Fuling, where is in interior zones of the Three Gorges Reservoir region, was selected as the study object. Meanwhile, ArcGIS geo-statistics module was conducted for investigation of the Hg contents and distribution characteristics in soils of different land use types including dry land, farmland, woodland and settlements. Also the corresponding Hg pollution level and ecological risk were assessed. The results suggested that soil Hg contents in this watershed ranged from 9.47 to 94.57 μg·kg^{-1}, and the mean value was (34.23 ± 16.23) μg·kg^{-1}. Higher Hg contents in surfaces of soils were observed in woodland, followed by farmland and settlement. The lowest was found in dry land. Surfaces of soils significantly showed Hg accumulation, and an obvious inverse correlation between soil Hg contents and soil depths was also observed in this study. Additionally, geo-statistics analysis showed a weak spatial correlation of soil Hg contents in this watershed, indicating the spatial distribution of soil Hg in this watershed was mainly influenced by several natural factors such as atmospheric wet-dry deposit, vegetation coverage and topography, instead of anthropogenic interference. Overall confirmative soil Hg pollution was not found in this watershed, which showed a very low pollution index(-0.08), but a moderate potential ecological risk still existed(the ecological risk index was 57), of which woodland had the highest potential risk. The total capacity of Hg in this watershed was 25.39 kg, among which dry land accounted for 69%.

Key words: mercury; soil; Three Gorges Reservoir region; agricultural watershed; pollution assessment

陆地生态系统中,土壤是环境中重金属迁移转化的重要环节,既是重金属聚集的地球化学汇,也是向其他系统迁移的源. 汞作为一种特殊的重金属,具有持久性、迁移性、高毒性和生物累积性等特征,在环境中广泛存在,土壤是其主要汇聚地[1]. 研究发现,陆地流域由于面积大,可接纳大量的大气沉降汞,其中约 5% ~25% 的汞进入水体,占水体汞负荷的 5% ~85%,成为受纳水体汞的主要来源[2]. 目前,陆生环境中土壤汞的分布及其迁移转化特征[3~5],以及土壤汞污染程度及其潜在生态风险[6]得到广泛重视.

三峡水库是举世瞩目的特大型水库,由于其特殊的水位调节方式,使其成为典型的汞敏感生态系统,

收稿日期: 2014-07-01; **修订日期**: 2014-08-15

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2013CB430004); 国家自然科学基金项目(41373113, 41173116)

作者简介: 王娅(1990 ~),女,硕士研究生,主要研究方向为水污染控制, E-mail:wangyawork@163.com

* 通讯联系人, E-mail:dywang@swu.edu.cn

水库汞问题不容忽视. 库区流域位于我国西南汞矿化带东缘、川东南高汞背景区,农业面积广,耕地多以旱地为主,且坡耕地较多,水土流失严重,对水库汞负荷及其环境影响严重[7,8]. 然而,目前有关三峡汞问题的研究多集中于水库本身[9~11],对库区流域研究鲜见. 因此,本研究选择三峡库区典型农田小流域——重庆涪陵区王家沟为对象,调查该流域土壤汞含量及其分布特征,以期为了解农业环境中汞的迁移转化特征提供基础资料和理论依据,为估测库区流域汞库容量及其水库汞负荷提供数据支撑.

1　材料与方法

1.1　研究流域概况

王家沟农田小流域距重庆市涪陵城区 40 km,位居于长江北岸(29°54′N, 107°30′E),属亚热带季风气候的典型丘陵地,海拔 153 ~ 307 m,地势从北到南逐渐降低,延伸至长江,除南部紧邻长江有一水流汇出口外, 其余均被山脊所包围. 土壤主要为侏罗系蓬莱镇组棕紫色砂泥岩相发育的棕紫泥,土壤的 pH 值范围为 5.1 ~ 8.15,营养成分中钾含量较高,有机质、有效养分等含量中等,微量元素含量属中度缺乏[12]. 流域总面积 72.3 hm^2,是典型的多土地利用格局的农业生态系统,流域顶部多为旱地,并伴有少量的次生林地和未利用的荒地,流域中部主要为土坎或石坎梯田,流域底部地势平坦,以田地为主,旱地、田地和林地面积分别为 47.9、17.7 和 2.5 hm^2. 旱地采用旱作方式,田地多是水旱轮作,秋末至春末多为旱作,林地主要是柑橘林、竹林和部分桑树林、龙眼林,耕作方式以人工耕作为主,微型机械为辅,无较大外源干扰,是库区流域典型的人工农业生态系统.

1.2　采样与分析

本研究于 2014 年 3 月中旬,按不同土地利用类型系统采集该流域内 34 个具代表性土壤表层混合样(0 ~ 5 cm,3 ~ 5 个点),分别为旱地(C1 ~ C16)、林地(L17 ~ L27)、田地(T28 ~ T32)以及居民点(J33、J34),并分别在主要代表性土地类型(旱地、田地、林地)点采集土样垂直样(0 ~ 100 cm),采样点分布如图 1 所示.

采用 DMA80 直接测汞仪(意大利麦尔斯通公司生产)测定土壤样品汞含量,该方法检出限为 0.01 μg.

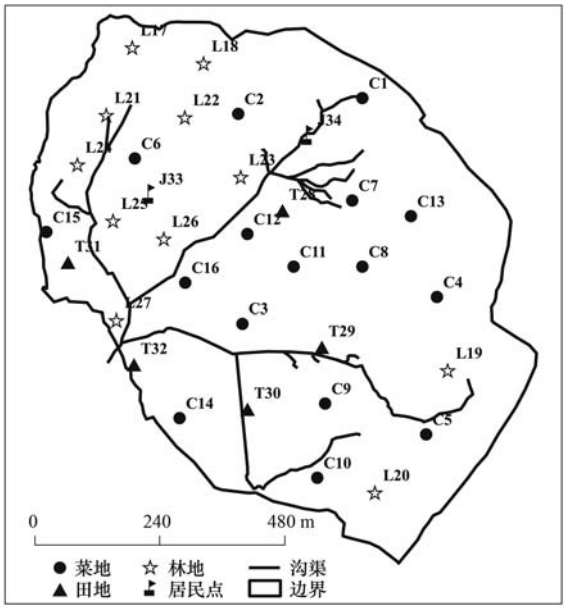

图 1　王家沟流域土壤采样点分布示意

Fig. 1　Soil sampling sites in Wangjiagou watershed

1.3　评价方法

采用地累积指数法(I_{geo})[13]评价流域土壤汞污染情况,计算方法:

$$I_{geo} = \lg[C_i/kB_i]$$

式中,I_{geo}为 Hg 的地累积指数,C_i 为土壤 Hg 测定值,B_i 为 Hg 的土壤背景值,k 为造岩运动可能引起的背景值变动的系数($k = 1.5$),基于 I_{geo}的污染程度分级见表 1.

采用潜在生态危害指数法(E_r)[14]评价流域土壤汞污染状况及其潜在生态危害. 计算方法如下:

$$E_r = T_r \cdot C_i/C_0$$

式中,E_r 为 Hg 的潜在生态危害系数,C_i 为土壤汞测定值,C_0 为 Hg 的土壤背景值,T_r 为 Hg 的毒性系数($T_r = 40$),基于 E_r 的潜在生态风险系数分级见表 2.

表 1　地累积指数与重金属污染程度

Table 1　The I_{geo} and contamination grades of heavy metals

I_{geo}	0	0 ~ 1	1 ~ 2	2 ~ 3	3 ~ 4	4 ~ 5	>1
等级	0	1	2	3	4	5	6
污染程度	无	无-中	中	中-强	强	强-极强	极强

1.4　质量控制与数据分析

采用标准物质 GBW-07405(GSS-5)、平行样和空白样进行质量控制,标准土样测定结果显示汞的回收率为 102.80% ~ 106.54%,并对所有样品进行

表 2 潜在生态风险分级

Table 2 The E_r and contamination grades of heavy metals

E_r	<40	40 ~ 80	80 ~ 160	160 ~ 320	>320
潜在生态风险程度	轻微	中等	强	很强	极强

重复测定,相对标准偏差 < 10%,所用水均为超纯水.

数据管理采用 Microsoft Excel(2010),正态分布检验(Shapiro-Wilk 法: S-W) 采用 Origin 8.0 软件,统计分析采用 SPSS 16.0 完成,空间分析和克里格插值采用 Origin 8.0 和 ArcGIS 9.0 完成.

2 结果与讨论

2.1 表层土壤汞含量及其分布特征

王家沟农田流域各土地利用类型表层土壤 Hg 含量统计分析结果见表 3. 总体而言,流域内土壤汞含量呈偏正态分布($P^*_{s\text{-}w}=0.001$),经对数转换后符合正态分布分布[$P_{s\text{-}w}(\ln)=0.67$].

由表 3 可知,该流域土壤 Hg 含量中值为 29.64 μg·kg^{-1},显著低于唐将等[15]测得的三峡库区土壤 Hg 背景值(46.0 μg·kg^{-1}),也较已有有关土壤 Hg 含量研究结果低(表 4). 已有研究多侧重于有污染源或人为影响较重的地区,而本研究流域远离污染源,除人工耕作扰动外,无其它较大外源干扰,因此土壤母质、大气汞的干湿沉降、农业灌溉和施肥以及生活垃圾是流域汞的主要来源[16]. 研究流域土壤为棕紫泥,pH 值 5.6 ~ 8.5,有机质含量为中等,这些特性均不利于汞在流域内的存留,降雨形成的地表径流对表层土壤冲刷能力强,使吸附着大量汞的表层土壤颗粒物易于迁移进入水体[17],故导致该流域土壤 Hg 含量较低.

表 3 流域土壤中汞的含量及其分布特征[1)]

Table 3 Concentration and distribution characteristics of Hg in soils of Wangjiagou watershed

土地类型	样本数/个	范围/μg·kg^{-1}	中值/μg·kg^{-1}	均值/μg·kg^{-1}	变异系数/%
旱地	16	9.47 ~ 53.54	23.69	26.84 ± 11.86[a]	44.19
田地	5	21.15 ~ 58.06	29.09	32.57 ± 14.80[a]	45.44
林地	11	24.39 ~ 94.57	43.54	46.36 ± 17.75[a]	38.29
居民点	2	27.33 ~ 33.99		30.66 ± 4.81[a]	15.69
流域	34	9.47 ~ 94.57	29.64	34.23 ± 16.23	47.41

1)相同小写字母 a 表示 Hg 含量差异性不显著

表 4 土壤汞含量有关研究结果

Table 4 Hg concentrations in soils reported in historical literatures

土地类型	研究区域	均值/μg·kg^{-1}	范围/μg·kg^{-1}
土壤背景值	三峡库区	46	24 ~ 140[15]
消落带土壤	三峡库区	51.7	33.07 ~ 55.43[18]
矿区自然土壤	贵州万山	12 120/13 240/40 494	50 ~ 389 000[19]
流域土壤	Asturias	462	261 ~ 856[20]
农田土壤	中部	39.5	32.5 ~ 49.5[21]
农田土壤	重庆	76	32 ~ 164[22]
农田土壤	珠江三角洲	278.01	16.72 ~ 3 324.41[23]
农田土壤	三江源	34	10 ~ 139[24]
农田土壤	Flemish Belgium	120/240	30 ~ 4 190[25]
农田土壤	Ghana	262.12	125.29 ~ 352.52[26]

本研究流域内,不同土地类型土壤 Hg 含量存在一定差异,表现为林地 > 田地 > 居民点 > 旱地,但可能由于流域面积过小,差异并不显著(表 3). 研究发现,外界干扰以及植被覆盖,是影响流域土壤 Hg 含量差异的重要因素[27~29]. 林地植被茂盛,吸附一定量的大气汞的植被经脱落后腐蚀分解,增加土壤汞负荷的同时,也使林地具有更良好的土壤性质,降低地表径流对土壤的侵蚀作用[3],使其土壤 Hg 含量高于其他类型土壤; 田地则因蓄水作用,来自上游水体和大气沉降的汞大部分被沉积下来[30],故其具有较高含量的土壤汞; 居民点因受当地居民生活影响明显,生活垃圾引起周围土壤 Hg 含量增高[15]; 旱地则因为耕作活动频繁,土壤扰动大,降雨形成的地表径流对其冲刷能力强,故其表层土壤

汞最低. 此外,林地中 L18 点(桑树林)土壤 Hg 含量显著高于其他类型林地,L22(龙眼林)土壤 Hg 含量最低,有研究显示桑树对大气中汞具有很强的吸收能力[31],离城区和明显汞污染源较远区域,因大气汞的远距离传输,其雨水汞含量仍然较高[32],桑树对汞强吸收,桑叶脱落进入土壤腐蚀分解后使土壤汞负荷增加.

采用高斯模型拟合了土壤中 Hg 含量的半变异函数. 块金值 C_0 是由测量误差和小于最小采样尺度的非连续性变异引起,属随机性变异; 基台值 C_0+C 表示系统内的总变异; $C_0/(C_0+C)$反映区域化变量的空间异质性程度,揭示区域化变量的空间相关程度[33]. 一般,$C_0/(C_0+C)$值 <25%,说明空间相关性很强,$C_0/(C_0+C)$值于 25% ~75% 间,说明属中等相关,$C_0/(C_0+C)$值 >75%,则说明相关性弱. 从表 5 可知,汞在所研究流域内表现出很弱程度的空间相关性,这说明,土壤母质、地形是引起流域土壤汞空间变异的重要因素,人为影响弱.

表 5　流域土壤中汞的半变异函数参数

Table 5　Parameters of semi-variance of Hg in soils of Wangjiagou watershed

模型	C_0	C_0+C	$C_0/(C_0+C)$/%	有效变程/m
指数模型	0.15	0.097	154.64	842.17

采用克里格插值法绘制流域土壤汞的空间分布图(图 2),从图 2 可知,流域内土壤汞含量的空间变化性较强,土壤汞含量从东北方向至西南方向呈逐渐增高趋势,从东向西也呈逐渐增高趋势,总体上,表现为高海拔土壤汞含量低于低海拔,高值点主要分布在林地. 戴智慧等[3]研究发现,土地利用方式和坡度是影响汞流失的重要因素,该流域农业活动密集,且土壤蓄水能力弱,坡耕地受径流冲刷严重,表层土壤汞随径流水体向下迁移,再加上底部地势平坦,致使流域顶部表层土壤汞含量低于底部,而林地则因植被覆盖,土壤侵蚀作用小,再加上植被对大气汞的吸附作用,表现出高含量的土壤汞,林地土壤汞在流域空间内上下分布不明显.

克里格插值法是以污染物的空间结构特征为基础,根据样点对估值点的影响,得到样本的总体最优无偏估计,对污染物的空间分布特征能有良好的预测[33]. 空间插值法的精度受半变异函数拟合的精度影响严重,为验证评价结果的合理性,需对其进行验证,根据交叉性验证的几个指标来评价. 如: 标准平均值误差(MSE)的绝对值最接近于 0,均方根

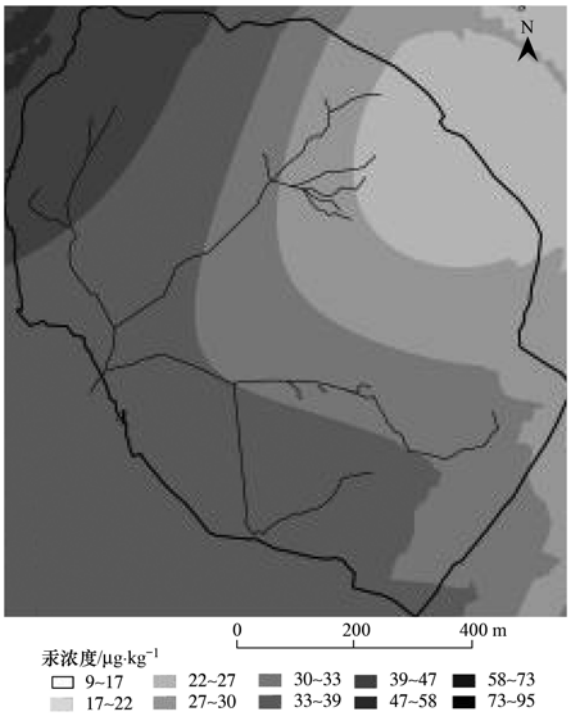

图 2　流域土壤中汞的空间分布特征

Fig. 2　Spatial distribution characteristics of Hg in soils of Wangjiagou watershed

误差(RMSE)最小,平均标准误差(AME)最接近于 RMSE 和标准均方根(RMSS)最接近于 1 等,均可表明空间插值具良好的精度[34]. 表 6 的验证结果表明,采用克里格法对所研究流域内土壤汞 Hg 的空间插值预测可靠性较高.

表 6　克里格法空间插值的交叉性验证误差

Table 6　Cross-validation errors of the Kriging interpolation

重金属	MSE	RMSE	AME	RMSSE
Hg	-0.028	16.52	16.27	1.03

2.2　土壤汞垂直分布特征

根据流域土地利用情况,采集分析流域内主要土地类型土壤垂直样 Hg 含量,结果见图 3. 在垂直分布上,土壤 Hg 含量分布明显,不同土地类型土壤 Hg 含量差异性不显著($P>0.05$),表现出相似的垂直分布特征,即均为土壤 Hg 含量随土壤深度增加而降低. 表层明显高于深层土壤,0 ~5 cm 土壤层 Hg 含量(40.02 ~70.84 $\mu g\cdot kg^{-1}$)约为深层土壤的 2 ~4 倍,特别是林地. 各利用类型土壤 Hg 含量变化均与土壤深度表现出极显著负相关系(分别为 $r=-0.89$, $P<0.01$; $r=-0.93$, $P<0.01$; $r=-0.79$, $P<0.01$),随着深度增加,土壤 Hg 含量逐渐降低并趋于稳定. 土壤汞的垂直分布特征说明,

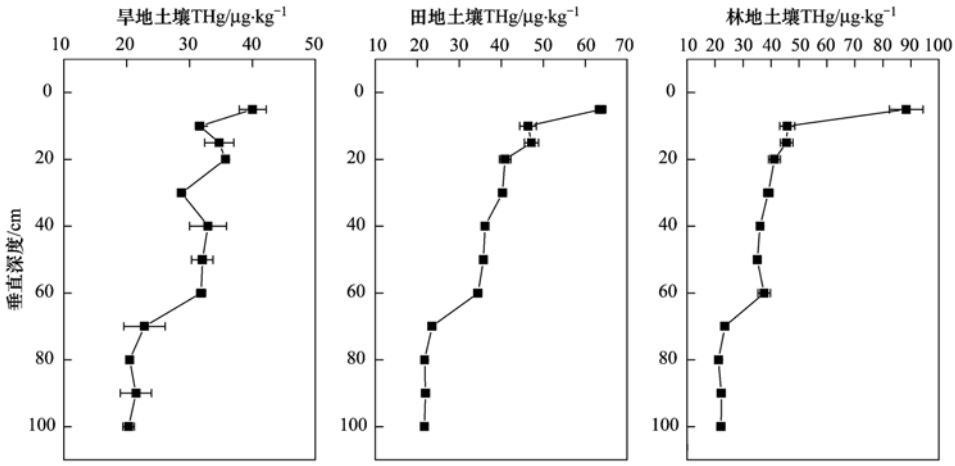

图 3 不同土地利用类型土壤汞垂直分布特征

Fig. 3 Vertical distribution characteristics of Hg in soils of three land use types

流域内表层土壤出现明显汞积累现象,且向下迁移不明显. 虽然土壤母质是土壤汞的最基本来源,但汞的干湿沉降以及外界干扰是引起土壤 Hg 含量增高的重要因素,进入土壤的汞大部分被表层土壤中的粘土矿物和有机质吸附[35],使得土壤表层汞含量明显高于深层土壤.

2.3 流域土壤汞承载量估算

选择流域主要土地类型旱地、田地、林地,将土壤分为三层: 上层(0 ~ 20 cm)、中层(20 ~ 60 cm)、下层(60 ~ 100 cm),根据土壤容重和含水率,估算流域土壤汞承载量. 估算结果显示,上、中、下层旱地土壤汞承载量为: 4.03、7.86、5.47 kg,总共为 17.36 kg,田地为: 2.08、2.91、2.02 kg,总共为 7.01 kg,林地为: 0.33、0.41、0.29 kg,总共为 1.02 kg,流域土壤汞总承载量约为 25.39 kg,旱地所占比例(约为 69%)最高.

2.4 土壤汞污染程度评价

本研究采用深层土壤(60 ~ 100 cm) Hg 含量作为该流域土壤汞背景值[36], C_0 取值 24.13 μg·kg^{-1}对王家沟流域土壤汞污染程度和土壤汞生态风险进行评价,评价结果见表 7. 基于地累积指数法的评价结果显示,只一处采样点为中度污染,29.41% 的采样点为无-中度污染,其余采样点均无污染现象,林地、旱地以及田地均表现出一定程度的污染,各土地类型污染程度为林地 > 田地 > 居民点 > 旱地. 其中,林地有 72.73% 采样点出现无-中或中度污染,其中 L18 点最严重为中度污染,这可能是林地类型不同所致,本研究林地多为柑橘林、竹林,只 L18 点为桑树林. 总体上,流域土壤并未出现汞污染.

表 7 土壤汞污染程度和生态风险评价

Table 7 Soil Hg pollution level and ecological risk assessment

土地类型	I_{geo}	I_{geo} 均值	E_r	E_r 均值
旱地	-1.94 ~ -0.56	-0.43	16 ~ 89	45
田地	-0.77 ~ -0.23	-0.15	35 ~ 96	54
林地	-0.57 ~ 1.39	0.36	40 ~ 157	77
居民点	-0.09 ~ -0.41	-0.24	45 ~ 56	51
流域	-1.94 ~ 1.39	-0.081	16 ~ 157	57

基于潜在生态风险指数法的评价结果显示(表 7),分别有 55.88%、11.76% 采样点具有中度、强度生态风险,其余样点为低生态风险. 不同土地利用类型生态风险表现为: 林地 > 田地 > 居民点 > 旱地,其中林地分别有 72.73% 和 18.18% 的采样点出现强度和中度生态风险,40% 的田地采样点出现中度污染,居民点均为中度生态风险,旱地总体看来其生态风险最小,但有两处采样点出现强生态风险,这可能是因为不同旱地采样点农业施肥等不同所致. 总体上,流域土壤表现出中度的汞潜在生态风险.

3 结论

王家沟农田流域土壤 Hg 含量范围为 9.47 ~ 94.57 μg·kg^{-1},均值为(34.23 ± 16.23) μg·kg^{-1},低于三峡库区土壤背景. 不同土地利用类型土壤 Hg 含量特征为: 林地 > 田地 > 居民点 > 旱地,差异并不显著,受外界干扰和植被覆盖是影响 Hg 含量差异性的主要因素. 在垂直分布上,流域内土壤汞呈表层累积现象,土壤 Hg 含量与土壤深度呈现出极显著负相关关系. 在空间分布上,流域内土壤汞的空间相关性弱,土壤母质和地形特征是影响流域汞含量的主要因素. 总体上流域土壤表现为无汞污

染,但具有中度的汞潜在生态风险,林地最为突出.流域土壤汞总承载量约为 25.39 kg,其中旱地所占比例(约为 69%)最高.

参考文献：

[1] 王定勇. 汞在酸雨沉降地区陆地生态系统中的分布与行为[D]. 重庆：西南农业大学, 2001.

[2] Lindqvist O, Johansson K, Bringmark L, *et al*. Mercury in the Swedish environment-recent research on causes, consequences and corrective methods[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 1991, **55**(1-2): xi-261.

[3] 戴智慧, 冯新斌, 张超, 等. 万山汞矿区表层土壤汞迁移[J]. 生态学杂志, 2012, **31**(8): 2103-2111.

[4] Richardson J B, Friedland A J, Engerbretson T R, *et al*. Spatial and vertical distribution of mercury in upland forest soils across the northeastern united States[J]. Environmental Pollution, 2013, **182**: 127-134.

[5] Frentiu T, Pintican B P, Butaciu S, *et al*. Determination, speciation and distribution of mercury in soil in the surroundings of a former chlor-alkali plant: assessment of sequential extraction procedure and analytical technique[J]. Chemistry Central Journal, 2013, **7**: doi: 10.1186/1752-153X-7-178.

[6] 尹伟, 卢瑛, 李军辉, 等. 广州城市土壤汞的分布特征及污染评价[J]. 土壤通报, 2009, **40**(5): 1185-1188.

[7] 胡尚伟. 三峡成库后重庆及三峡水中典型有毒金属汞的污染状况分析及环境行为初步研究[D]. 重庆：西南大学, 2006.

[8] 杨振宁. 三峡库区重庆段汞污染现状分析[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2008, **25**(3): 13-16, 35.

[9] 李萍. 三峡库区典型消落带水体中汞的时空分布[D]. 重庆：西南大学, 2013.

[10] 余杨, 王雨春, 周怀东, 等. 三峡水库蓄水初期鱼体汞含量及其水生食物链累积特征[J]. 生态学报, 2013, **33**(13): 4059-4067.

[11] 张成, 陈宏, 王定勇, 等. 三峡库区消落带土壤汞形态分布与风险评价[J]. 环境科学, 2014, **35**(3): 1060-1067.

[12] 李梦婕, 江韬, 何江仁, 等. 三峡库区典型农田小流域水化学特征及变化规律[J]. 中国环境科学, 2012, **32**(6): 1062-1068.

[13] Muller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River[J]. Geo Journal, 1969, **2**(3): 108-118.

[14] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. a sedimentological approach[J]. Water Research, 1980, **14**(8): 975-1001.

[15] 唐将, 钟元平, 王力. 三峡库区土壤重金属背景值研究[J]. 中国生态农业学报, 2008, **16**(4): 848-852.

[16] 方凤满, 王起超. 土壤汞污染研究进展[J]. 土壤与环境, 2000, **9**(4): 326-329.

[17] 陈瑜鹏, 冯新斌, 郭艳娜, 等. 乌江流域表层水体中汞的形态与时空分布特征[J]. 地球与环境, 2010, **38**(2): 151-156.

[18] 何熙. 三峡库区消落带土壤(沉积物)总汞及甲基汞变化特征[D]. 重庆：西南大学, 2013.

[19] 戴智慧, 冯新斌, 李平, 等. 贵州万山汞矿区自然土壤汞污染特征[J]. 生态学杂志, 2011, **30**(5): 902-906.

[20] Gonzáiez-Fernández B, Menédez-Casares E, Meléndez-Asensio M, *et al*. Sources of mercury in groundwater and soils of west Gijón (Asturias, NM Spain)[J]. Science of the Total Environment, 2014, **481**: 217-231.

[21] 于云江, 胡林凯, 杨彦, 等. 典型流域农田土壤重金属污染特征及生态风险评价[J]. 环境科学研究, 2010, **23**(12): 1523-1527.

[22] 何峰. 重庆市农田土壤-粮食作物重金属关联特征与污染评价[D]. 重庆：西南农业大学, 2004.

[23] 丁小勇. 珠三角地区土壤与北江沉积物中汞污染现状与评价初步研究[D]. 重庆：西南大学, 2010.

[24] 冯玲, 张威, 修光利, 等. 三江源区玉树县和玛多县土壤汞含量分布特征[J]. 生态与农村环境学报, 2014, **30**(2): 262-267.

[25] Tack F M G, Vanhaesebroeck T, Verloo M G, *et al*. Mercury baseline levels in Flemish soils(Belgium)[J]. Environmental Pollution, 2005, **134**(1): 173-179.

[26] Adjorlolo-Gasokpoh A, Golow A A, Kambo-Dorsa J. Mercury in the surface soil and cassava, *Manihot esculenta* (Flesh, Leaves and Peel) near goldmines at Bogoso and Prestea, Ghana[J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2012, **89**(6): 1106-1110.

[27] Schwesig D, Krebs O. The role of ground vegetation in the uptake of mercury and methylmercury in a forest ecosystem[J]. Plant and Soil, 2003, **253**(2): 445-455.

[28] Lacerda L D, de Souza M, Ribeiro M G. The effects of land use change on mercury distribution in soils of Alta Floresta, Southern Amazon[J]. Environmental Pollution, 2004, **129**(2): 247-255.

[29] Zhang Y M, Liu Y R, Hu Q, *et al*. Mercury in soils of three agricultural experimental stations with long-term fertilization in China[J]. Chemosphere, 2008, **72**(8): 1274-1278.

[30] 仇广乐. 贵州省典型汞矿地区汞的环境地球化学研究[D]. 北京：中国科学院地球化学研究所, 2005.

[31] Shu T, Lu P, He N. Mercury adsorption of modified twig chars in a simulated flue gas[J]. Bioresource Technology, 2013, **136**: 182-187.

[32] Wang Y M, Wang D Y, Meng B, *et al*. Spatial and temporal distributions of total and methyl mercury in precipitation in core urban areas, Chongqing, China[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2012, **12**: 9417-9426.

[33] 王政权. 地统计学及其在生态学中的应用[M]. 北京：科学出版社, 1999. 101-102.

[34] 郭广慧, 张航程, 彭颖. 基于 GIS 的宜宾城市土壤 Pb 含量空间分布特征及污染评价[J]. 环境科学学报, 2011, **31**(1): 164-171.

[35] Wang S F, Feng X B, Qiu G L, *et al*. Characteristics of mercury exchange flux between soil and the air in heavily air-polluted area, eastern Guizhou, China[J]. Atmospheric Environment, 2007, **41**(27): 5584-5594.

[36] Wu Y H, Jiang X Z, Liu E F, *et al*. The enrichment characteristics of mercury in the sediments of Dongjiu and Xijiu, Taihu Lake catchment, in the past century[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2008, **51**(6): 848-854.

HUANJING KEXUE

Environmental Science (monthly)

Vol. 36 No. 1

Jan. 15, 2015

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, *et al.* (1)

Pollution Characteristics and Ozone Formation Potential of Ambient VOCs in Winter and Spring in Xiamen …… XU Hui, ZHANG Han, XING Zhen-yu, *et al.* (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, *et al.* (18)

Composition of Organic Carbon/Elemental Carbon and Water-soluble Ions in Rice Straw Burning …… HONG Lei, LIU Gang, YANG Meng, *et al.* (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, *et al.* (34)

Partial Pressure of CO_2 and CO_2 Degassing Fluxes of Huayuankou 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, *et al.* (56)

Spatio-temporal Characteristics and Source Identification of Water Pollutants in Wenruitang 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, *et al.* (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, *et al.* (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, *et al.* (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, *et al.* (114)

Speciation and Spatial-temporal Variation of Mercury in the Xiaolangdi Reservoir …… CHENG Liu, MAO Yu-xiang, MA Bing-juan, *et al.* (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, *et al.* (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, *et al.* (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, *et al.* (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, *et al.* (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, *et al.* (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, *et al.* (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, *et al.* (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, *et al.* (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, *et al.* (194)

Arsenic Removal by Coagulation Process and the Field Expanding Experiments for Yangzonghai Lake …… CHEN Jing, ZHANG Shu, YANG Xiang-jun, *et al.* (202)

Efficient Oxidative Degradation of Tetrabromobisphenol A by Silver Bismuth Oxide …… CHEN Man-tang, SONG Zhou, WANG Nan, *et al.* (209)

Removal of Tetracycline by a Kind of Nano-Sized Amorphous Carbon …… WU Yi-xiao, LI Ai-min, WANG Di-hua, *et al.* (215)

Adsorption Behavior of Anionic Dyes onto Magnetic Chitosan Derivatives …… ZHANG Cong-lu, HU Xiao-min, ZHAO Yan, *et al.* (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, *et al.* (237)

Application of FISH-NanoSIMS Technique in Environmental Microbial Ecology Study …… CHEN Chen, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, *et al.* (244)

Influence of Microcystin-LR on Cell Viability and Surface Characteristics of *Pseudomonas putida* …… DENG Ting-jin, YE Jin-shao, PENG Hui, *et al.* (252)

Screening, Combination of Microbial Deodorizer and the Optimization of Its Deodorizing Conditions …… ZENG Su, LI Nan-hua, SHENG Hong-chan, *et al.* (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, *et al.* (266)

Levels of Polychlorinated Biphenyls in Tibetan and Yi Adolescents' Hair from Liangshan Prefecture, Sichuan Province …… ZHOU Ying, SUN Yi-ming, JIN Jun, *et al.* (274)

Effects of Single and Co-Exposure of Cu and Chlorpyrifos on the Toxicity of Earthworm …… XU Dong-mei, WANG Yan-hua, WANG Nan, *et al.* (280)

Effect of Exogenous Selenium on Accumulation and Chemical Forms of Cadmium in Cucumber(*Cucumis satiuus* L.) …… XIONG Shi-juan, LIU Jun, XU Wei-hong, *et al.* (286)

Pollution Characteristics of Platinum Group Elements in Road Rust in Xiamen …… HONG Zhen-yu, HONG You-wei, YIN Li-qian, *et al.* (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, *et al.* (301)

Immobilization Impact of Different Fixatives on Heavy Metals Contaminated Soil …… WU Lie-shan, ZENG Dong-mei, MO Xiao-rong, *et al.* (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, *et al.* (314)

Analysis of Composition Characteristics of Municipal Solid Waste in South China …… ZHANG Hai-long, LI Xiang-ping, QI Jian-ying, *et al.* (325)

Sewage Sludge Conditioning by Bioleaching Combined with Fenton-like Oxidation …… LIU Chang-geng, ZHANG Pan-yue, JIANG Jiao-jiao, *et al.* (333)

Applicability of Bisphenol A Detection by a Planar Waveguide Fluorescent Biosensor …… XU Wei-qi, ZHANG Yong-ming, ZHOU Xiao-hong, *et al.* (338)

A New "Turn-on" Fluorescent Probe for Visual Detection of Hydrogen Sulfide …… LIU Chun-xia, MA Xing, WEI Guo-hua, *et al.* (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, *et al.* (349)

Simultaneous Production of Hydrogen and Volatile Fatty Acid from *Macrocystis pyrifera* …… ZHAO Xiao-xian, FAN Xiao-lei, GUO Rong-bo, *et al.* (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